

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по выполнению практических занятий

по дисциплине «Радиотехнические средства приема и обработки сигналов»

для студентов направления подготовки

11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность (профиль)

«Технологии построения программно-управляемых систем и компьютерных сетей»

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ	7
2 ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ»	8
2.1 Общая характеристика устройств приема и обработки сигналов	8
2.2 Структурные схемы линейного тракта устройств приема и обработки сигналов	11
2.3 Особенности построения устройства приема и обработки сигналов различного назначения	13
2.4 Элементы и узлы устройства приема и обработки сигналов	16
2.5 Автоматические регулировки в радиоприемных устройствах приема и обработки сигналов.....	20
2.6 Теория и техника измерения технических характеристик радиоприемных устройств.....	22
3 КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ	24
3.1 Общие требования по выполнению контрольных работ	24
3.2 Контрольная работа №1. Общая характеристика и основы построения устройства приема и обработки сигналов	26
3.2.1 Содержание компьютерной контрольной работы	27
3.3 Контрольная работа № 2. Расчет чувствительности устройств приема и обработки сигналов	29
3.3.1 Содержание контрольной работы.....	29
3.3.2 Краткие методические указания по расчету чувствительности устройства приема и обработки сигналов	30
3.3.3 Задания к контрольной работе №2	38
3.3.4 Пример выполнения контрольной работы.....	43
3.4 Контрольная работа № 3. Расчет средств избирательности и усиления устройств приема и обработки сигналов	46
3.4.1 Содержание контрольной работы.....	47
3.4.2 Краткие методические указания по расчету средств избирательности и усиления устройства приема и обработки сигналов	47
3.4.3 Задания к контрольной работе №3	66

3.4.4 Краткие методические рекомендации по выполнению контрольной работы	67
4 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	69
ЛИТЕРАТУРА	70

1 ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Устройства приема и обработки сигналов» является одной из основных специальных дисциплин в инженерной подготовке по направлению специальностей «Радиотехника». Целью изучения дисциплины является подготовка студентов к разработке современных средств приема и обработки радиосигналов или, как их называют иначе, радиоприемных устройств. Основными задачами изучения дисциплины является освоение основ построения радиоприемных устройств, освоение методик проектирования по заданным показателям качества. В результате изучения дисциплины студент должен знать основы построения структурных схем устройств приема и обработки сигналов и освоить основные принципы и методы расчета, проектирования и конструирования. Студент должен уметь применять современные методы проектирования и анализа качественных показателей качества радиоприемных устройств. Изучение дисциплины базируется на основе физико-математической подготовки и знания дисциплин: основы теории электрических цепей, электродинамика и распространение радиоволн, радиотехнические цепи и сигналы, схемотехника аналоговых электронных устройств, радиоавтоматика и т.д.

При изучении дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» студент должен выполнить три контрольных работы и лабораторный практикум, состоящий из 4-х лабораторных работ, выполняемых во время комплексной лабораторной практики.

В процессе изучения дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» студентами проводится курсовое проектирование радиоприемного устройства. При курсовом проектировании проводится выбор, обоснование и расчет структурной и электрической принципиальных схем радиоприемного устройства. Расчетами результирующих технических характеристик подтверждаются правильность выбора структурной схемы и наиболее важных частей принципиальной схемы.

2 ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ»

2.1 Общая характеристика устройств приема и обработки сигналов

Цель, задачи и содержание дисциплины. Назначение и области применения радиоприемных устройств. Общие требования к устройствам приема и обработки сигналов, назначение и место установки, состав комплекта, аппаратура, с которой должен работать приемник.

Перечень основных показателей технических характеристик радиоприемных устройств. Диапазон частот, чувствительность, избирательность радиоприемных устройств. Полоса пропускания, амплитудная и переходная характеристика, динамический диапазон устройств приема и обработки сигналов. Стабильность технических характеристик, качество воспроизведения сигналов, ручные и автоматические регулировки, входная цепь, выходная цепь, источник питания.

Классификация радиоприемных устройств по основному назначению. Типы профессиональных радиоприемных устройств. Перечень радиовещательных радиоприемников. Классификация радиоприемных устройств по роду работы, виду модуляции, по диапазону принимаемых волн. Классификация радиоприемных устройств по принципу построения, способу питания и месту установки.

Частотные диапазоны, предназначенные для работы радиоприемных устройств звукового и телевизионного вещания. Диапазоны частот, предназначенные для любительской связи и гражданского использования. Каналы связи сотовой телефонии стандарта GSM и пейджинговой связи. Диапазоны частот, отводимых для работы радиорелейной наземной и космической связи.

Аналитическое, векторное, спектральное и временное представление амплитудно-модулированного колебания. Эффективная ширина спектра амплитудно-модулированного колебания. Аналитическое, векторное, спектральное и временное представление колебания с угловой модуляцией. Эффективная ширина спектра час-

тотно-модулированного и фазомодулированного колебаний. Эффективная ширина радиоимпульсного колебания радиолокационных радиоприемных устройств различного назначения.

Виды помех и шумов, возникающих в радиоприемных устройствах. Виды и типы естественных и искусственных помех. Определение чувствительности устройств приема и обработки сигналов. Реальная, предельная (пороговая) и тангенциальная чувствительность. Аналитические выражения расчета э.д.с. помех, наводимых в антенне для различных частотных диапазонов. Формула Найквиста для расчета уровня шума в антенне. Определение коэффициента шума радиоприемного устройства. Определение допустимого коэффициента шума радиоприемного устройства его частотная зависимость.

Определение избирательности радиоприемных устройств по соседнему и дополнительным каналам приема. Виды избирательности. «Линейная» и «нелинейная» избирательность радиоприемного устройства. Частотная, пространственная и поляризационная избирательность радиоприемных устройств. Амплитудная, временная избирательность и избирательность по форме сигнала. Количественная оценка избирательности. Коэффициент прямоугольности избирательных свойств радиоприемных устройств.

Стабильность технических характеристик устройств приема и обработки сигналов. Что влияет на стабильность характеристик радиоприемного устройства. Технические показатели качества, зависящие от стабильности работы радиоприемной аппаратуры.

Электромагнитная совместимость. Основные показатели электромагнитной совместимости радиоприемной аппаратуры. Определение качественного показателя радиоприемного устройства по критерию нелинейных искажений. Эффекта сжатия, блокирования. Интермодуляционные искажения. Искажения типа «вторичная модуляция».

Вопросы для самоконтроля

1. Дать определение диапазона частот радиоприемного устройства.

2. Дать определение чувствительности устройства приема и обработки сигналов.

3. Чем отличается реальная чувствительность от предельной чувствительности радиоприемного устройства?

4. Что такое тангенциальная чувствительность радиоприемного устройства и когда используется этот технический показатель?

5. Дать определение избирательности радиоприемного устройства.

6. Что понимается под «линейной» и «нелинейной» избирательностью радиоприемного устройства?

7. Что такое избирательность по соседнему и по дополнительным каналам приема?

8. Какие факторы влияют на избирательность радиоприемного устройства?

9. Дать определение полосы пропускания радиоприемного устройства.

10. Что такое амплитудная и переходная характеристики радиоприемного устройства и когда используются эти характеристики.

11. Дать определение динамического диапазона радиоприемника.

12. Какие технические показатели характеризуют стабильность технических характеристик радиоприемников?

13. Какие технические показатели характеризуют качество воспроизведения сигналов?

14. Какие виды ручных и автоматических регулировок используются в радиоприемных устройствах?

15. Что такое входная и выходная цепь радиоприемного устройства?

16. Что указывается при определении источника питания радиоприемного устройства?

17. Дать классификацию радиоприемным устройствам по способу построения.

18. Какой вид модуляции используется в длинноволновом, средневолновом и коротковолновой диапазонах длин волн?

19. Какие виды чувствительности используются при определении технических характеристик радиоприемного устройства?

20. Дать определение избирательности радиоприемного устройства.

21. Что такое частотная избирательность?

22. Какое отличие имеет «нелинейная» и «линейная» избирательность радиоприемного устройства?

23. Какое отличие имеет пространственная и поляризационная избирательность?

24. Какими свойствами характеризуется временная избирательность радиоприемного устройства?

25. Чем отличается амплитудная избирательность радиоприемного устройства от избирательности по форме сигналов?

26. Привести на рисунке вид кривой избирательности радиоприемного устройства.

27. Привести аналитическое выражение для оценки избирательности радиоприемного устройства.

28. Как характеризует избирательные свойства коэффициент прямоугольности радиоприемного устройства?

29. Привести сравнительную оценку величин эффективной ширины спектра принимаемого радиосигнала и нестабильности настройки приемника.

30. Основной принцип электромагнитной совместимости радиоприемных устройств и другой радиотехнической аппаратуры.

31. Перечислить основные типы нелинейных искажений.

2.2 Структурные схемы линейного тракта устройств приема и обработки сигналов

Структурная схема радиоканала. Обобщенная структурная схема устройств приема и обработки сигналов. Состав обобщенной структурной схемы устройств приема и обработки сигналов.

Детекторные устройства приема и обработки сигналов. Особенности и недостатки детекторных радиоприемных устройств. Радиоприемные устройства приемников сигналов прямого усиления. Сверхрегенеративные радиоприемные устройства.

Супергетеродинные радиоприемные устройства с однократным и многократным преобразованием частоты. Выходной спектр супергетеродинного радиоприемного устройства. Устрой-

ства приема и обработки сигналов прямого преобразования. Инфранийные радиоприемные устройства.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое назначение имеют антенна, тракт высокой частоты, детектор, тракт низкой частоты и источник питания устройства приема и обработки сигналов?
2. Привести схему детекторного приемного устройства.
3. Чем отличаются схемы детекторного приемника и приемника прямого усиления?
4. Какие достоинства и недостатки имеют приемники прямого усиления и сверхрегенеративные радиоприемные устройства?
5. Почему радиоприемные устройства сверхрегенеративного типа не получили широкого распространения?
6. Какой основной принцип обеспечения избирательности использован в радиоприемных устройствах супергетеродинного типа?
7. Какие узлы супергетеродинного типа обеспечивает избирательность по соседнему, зеркальному и промежуточному каналам приема?
8. Перечислить преимущества схемы приемника супергетеродинного типа.
9. Перечислить недостатки схемы приемника супергетеродинного типа.
10. Какие проблемы необходимо решить на этапе проектирования супергетеродинного типа?
11. В каких случаях используют схему супергетеродинного типа с двойным преобразованием частоты?
12. Чем отличаются, и что общего имеют радиоприемные устройства прямого преобразования и супергетеродинные радиоприемники?
13. Перечислить отличия радиоприемника с прямым преобразованием частоты синхронного и асинхронного типа?
14. Дать определение структурной схемы инфранийного радиоприемного устройства.

2.3 Особенности построения устройства приема и обработки сигналов различного назначения

Общие сведения построения схем устройства приема и обработки сигналов. Особенности построения радиовещательных устройств приема и обработки сигналов. Радиовещательные приемники звукового вещания с амплитудной и частотной модуляцией. Особенности построения структурных схем приемников звукового вещания, предназначенных для обработки АМ- и ЧМ-сигналов. Особенности формирования АЧХ тональной и надтональной части спектра комплексного стереосигнала и сигнала с пилот-тоном системы стереовещания. Особенности построения радиоприемных устройств, предназначенные для приема сигналов стереофонического вещания. Качественные показатели, характеризующие радиоприемник стереофонического вещания.

Особенности построения устройств приема и обработки сигналов систем телевизионного вещания. Вид модуляции радиосигналов, передаваемых по каналам изображения и звука. Особенности формирования АЧХ спектра сигнала изображения системы черно-белого и цветного телевизионного вещания.

Особенности построения профессиональных устройств приема и обработки сигналов различного назначения. Классы радиоизлучений, используемых в профессиональных системах передачи информации по радиоканалу. Классификация профессиональных радиоприемных устройств по назначению и построению. Супергетеродинное радиоприемное устройство с многодиапазонным первым гетеродином, с однодиапазонным первым гетеродином и умножителем частоты. Супергетеродинное радиоприемное устройство с однодиапазонным первым гетеродином и генератором подставок с двойным преобразованием частоты. Супергетеродинное радиоприемное устройство с фиксированным первым и перестраиваемым вторым гетеродином. Супергетеродинное радиоприемное устройство с фиксированным первым и интерполяционным вторым гетеродином. Супергетеродинное радиоприемное устройство с многодиапазонным первым гетеродином и блоком опорных частот. Устройства приема и обработки непрерывных двухполосных сигналов с амплитудной модуляцией.

Особенности построения устройств приема и обработки сигналов систем радиосвязи. Радиоприемные устройства Си-Би-диапазона. Радиоприемные устройства однополосных АМ сигналов. Радиоприемные устройства многоканальных сигналов с частотным уплотнением. Радиоприемные устройства многоканальных сигналов с временным уплотнением.

Особенности построения радиолокационных устройств приема и обработки сигналов. Структурная схема радиолокационного приемника. Особенности построения радиолокационного приемника обнаружения и измерения координат цели.

Особенности построения панорамных устройств приема и обработки сигналов. Панорамные радиоприемные устройства параллельного и последовательного анализа. Панорамные радиоприемные устройства комбинированного типа. Основные показатели качества панорамных радиоприемных устройств.

Особенности построения цифровых устройств приема и обработки сигналов. Особенности обработки радиосигналов при переходе от аналогового сигнала к цифровому виду.

Особенности построения устройств приема и обработки сигналов сотовой и пейджинговой системы связи.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит различие и сходство устройств приема и обработки сигналов, предназначенных для приема амплитудно-модулированных и частотно-модулированных сигналов?

2. В чем заключается особенность обработки АЧХ сигналов ЧМ колебания и каково назначение цепи введения предсказания?

3. Представить аналитическое выражение для определения эффективной ширины спектра монофонического и стереофонического сигнала УКВ ЧМ звукового вещания.

4. Для чего служит сигнал пилот – тона при формировании комплексного стереофонического сигнала?

5. От каких качественных показателей качества устройства приема и обработки сигнала зависит величина переходного затухания в системе стереофонического вещания?

6. Какие основные особенности построения устройств приема и обработки сигналов систем телевизионного вещания?

7. Представить форму АЧХ спектра передаваемого и принимаемого телевизионного сигнала изображения.

8. От какой характеристики телевизионного приемника зависит четкость изображения.

9. Почему на практике промежуточная частота телевизионного приемника по каналу звука равна 6,5 МГц?

10. Какие особенности имеет структурная схема радиоприемного устройства, предназначенного для работы в *Си-Би*-диапазоне?

11. Почему радиоприемные устройства системы связи строятся на основе супергетеродинного приемника с двойным преобразованием частоты?

12. Какие особенности эксплуатации радиолокационных приемников?

13. Какие отличительные особенности имеют радиоприемные устройства, предназначенные для обнаружения сигналов и для измерения координат цели?

14. От каких характеристик радиоприемного устройства зависит величина выброса импульса на выходе радиоприемного устройства, предназначенного для измерения скорости движения цели?

15. Какое назначение имеет панорамное радиоприемное устройство?

16. Чем отличается панорамное радиоприемное устройство с параллельным анализом диапазона частот от последовательного анализа?

17. Какой характеристикой радиоприемного устройства определяется точность частотного анализа?

18. Какие достоинства и недостатки имеет радиоприемное устройство с параллельным анализом частот по сравнению с приемниками с последовательным анализом?

19. Что понимается под разрешающей способностью панорамного радиоприемника?

20. Какие особенности обработки сигналов используют при переходе от аналоговой формы к цифровому видео?

21. Какие требования предъявляются к АЧХ приемника, предназначенного для работы цифровых систем передачи информации?

22. Какие особенности построения устройства приема и обработки сигналов сотовой системы связи?

23. Особенности построения радиоприемного устройства пейджинговой системы связи?

24. Какой стандарт пейджинговой связи совместим с радиоприемником звукового вещания?

2.4 Элементы и узлы устройства приема и обработки сигналов

Входные цепи устройства приема и обработки сигналов. Общие сведения и структура входной цепи. Назначение входных цепей в радиоприемных устройствах. Классификация входной цепи по виду используемой антенны, по диапазону принимаемых частот, по числу селективных элементов, по способу связи входной цепи с антенной и нагрузкой, по конструктивному исполнению. Классификация, основные параметры и эквиваленты радиоприемных антенн. Режим настроенной и ненастроенной антенны. Эквивалентная модель антенны. Эквивалентные схемы антенн ДВ, СВ, КВ и УКВ диапазонов. Действующая высота различных типов антенн. Схемы входных цепей устройств приема и обработки сигналов. Частотные зависимости резонансного коэффициента передачи от вида связи входной с антенной и нагрузкой. Входные цепи с ненастроенной антенной. Анализ передаточных свойств входной цепи с ненастроенной антенной, с комбинированной связью с антенной. Условия работы входной цепи в режиме удлинения и укорочения. Схема одноконтурной цепи с внешнеемкостной связью с антенной. Входная цепь с магнитной антенной. Входные цепи с настроенной антенной. Входные цепи с электронной перестройкой по частоте. Шумовые свойства антенно-фидерной системы.

Селективные усилители радиосигналов устройств приема и обработки сигналов. Общие сведения и структура селективных усилителей радиосигналов. Усилители радиочастоты, усилители промежуточной частоты. Назначение усилителей радиочастоты и

усилителей промежуточной частоты? Классификация селективных усилителей радиосигналов. Особенности режима работы усилителя радиочастоты. Требования, предъявляемые усилителям промежуточной частоты. Структурная и эквивалентная схема селективного усилителя радиосигналов. Передаточные свойства селективных усилителей с индуктивной связью с колебательным контуром. Выбор средств избирательности в усилителях промежуточной частоты. Функция расширения в многокаскадных усилителях промежуточной частоты. Распределенная и сосредоточенная избирательность в тракте промежуточной частоты. Особенности выбора избирательных цепей усилителей с фиксированной настройкой, предназначенных для обработки импульсных радиосигналов. Шумовые свойства селективных и апериодических усилителей радиосигналов. Рекомендации по выбору типа усилительного элемента селективного усилителя радиосигналов по критерию коэффициента шума.

Преобразователи частоты устройств приема и обработки сигналов. Назначение преобразователя частоты. Общие сведения и теория преобразования. Структурная схема преобразователя частоты. Частотная характеристика смесителя преобразователя частоты. Основной и дополнительные каналы приема. Передаточные свойства преобразователя частоты по основному, зеркальному каналам и каналу прямого прохождения. Условие квазилинейного режима работы смесителя. Выбор промежуточной частоты. Шумовые свойства преобразователя частоты. Коэффициент шума преобразователя частоты на усилительных элементах. Факторы, влияющие на коэффициент шума преобразователя частоты. Методы подавления шумов, обусловленных наличием дополнительных каналов приема. Особенности построения гетеродинов в преобразователях частоты диапазонных устройств приема и обработки сигналов. Сопряжение контуров гетеродина и преселектора в диапазонных радиоприемных устройствах супергетеродинного типа. Виды и методы сопряжения контуров гетеродина и преселектора.

Детекторы устройств приема и обработки сигналов. Общие сведения и структура детекторов радиосигналов. Назначение детекторов устройств приема и обработки сигналов. Признаки, по которым классифицируются детекторы радиосигнала. Классифи-

кация по основному назначению, по виду модуляции, по схемотехнической реализации, по типу нелинейных элементов, по способу детектирования и по конструктивному оформлению. Принцип работы детектора на основе нелинейного элемента. Принцип работы синхронного детектора. Амплитудный детектор радиосигналов. Детектор радиоимпульсных сигналов. Детектор частотномодулированных сигналов. Фазовые детекторы радиосигналов. Основные качественные показатели качества детекторов радиосигналов.

Вопросы для самоконтроля

1. Дать определение входной цепи.
2. Перечислить признаки, по которым классифицируются входные цепи.
3. Сформулировать условие режима настроенной и ненастроенной антенны.
4. Что такое действующая высота антенны?
5. Какие виды связи входной цепи с антенной обладают постоянством резонансного коэффициента передачи в диапазоне рабочих частот диапазонных радиоприемных устройств?
6. Какие способы перестройки входной цепи могут быть использованы?
7. Что такое коэффициент перекрытия по частоте?
8. Чем отличаются входные цепи с ненастроенной и ненастроенной антенной?
9. Какие отличительные особенности имеют входные цепи с магнитной и рамочной антенной в сравнении с открытыми антеннами?
10. Какие элементы могут быть использованы во входных цепях с электронной перестройкой по частоте?
11. Дать сравнительную оценку коэффициента шума входной цепи с биполярным и полевым транзисторами?
12. Чем отличаются усилители радиочастоты от усилителей радиочастоты?
13. По каким признакам классифицируются селективные усилители радиочастоты?

14. Какое назначение имеет усилитель радиочастоты, входящий в состав преселектора радиоприемного устройства?

15. Каким требованиям должен отвечать усилитель радиочастоты?

16. Какое влияние оказывает УРЧ на чувствительность радиоприемного устройства?

17. Какое назначение имеет усилитель промежуточной частоты радиоприемного устройства?

18. Какое влияние оказывает на чувствительность усилитель промежуточной частоты радиоприемного устройства?

19. Какой из селективных усилителей, УРЧ или УПЧ, определяет полосу пропускания радиоприемного устройства?

20. Для обеспечения малого коэффициента шума в диапазоне рабочих частот до 1 ГГц какие усилительные элементы необходимо использовать в усилителе радиочастоты – полевые или биполярные и почему?

21. Для обеспечения малого коэффициента шума в диапазоне рабочих частот выше 1 ГГц какие усилительные элементы необходимо использовать в усилителе радиочастоты – полевые или биполярные и почему?

22. Дать определение преобразователя частоты?

23. Каков состав преобразователя частоты?

24. Какие каналы приема имеет преобразователь частоты?

25. Какую операцию, линейную или нелинейную, производит преобразователь частоты?

26. Чем отличается основной канал приема преобразователя частоты от зеркального канала?

27. Какой из каналов приема является наиболее опасным?

28. Что такое крутизна преобразования и крутизна усиления нелинейного усилительного прибора?

29. Дать сравнительную оценку коэффициента шума в режиме усиления и режиме преобразования.

30. Какая схема преобразователя частоты, с отдельным или с совмещенным гетеродином, предпочтительна?

31. Какие проблемы имеются при реализации сопряжения контуров гетеродина и преселектора диапазонного радиоприемного устройства диапазонного типа?

32. Какие методы сопряжения контуров гетеродина и преселектора Вы знаете?

33. Какое назначение имеет детектор радиосигналов?

34. По каким признакам классифицируются детекторы радиосигналов?

35. Какие типы детекторов по основному назначению Вы знаете?

36. Какие типы детекторов различают по виду модуляции?

37. Какие типы нелинейных элементов используются в детекторах радиосигналов?

38. Какие способы используются в радиоприемных устройствах для детектирования радиосигналов?

39. В чем заключается принцип синхронного детектирования?

40. Какой принцип работы используется в корреляционных детекторах?

41. Какими показателями качества обладают амплитудные детекторы?

42. Какие отличия от амплитудного детектора имеет детектор радиоимпульсных сигналов?

43. Чем определяется режим импульсного и пикового детектирования в детекторах радиоимпульсных сигналов?

44. Какие принципы детектирования используются для выделения огибающей частотно-модулированных сигналов?

45. Какие принципы детектирования используются для выделения огибающей фазомодулированных сигналов?

46. Какие показатели качества используются для определения технических характеристик детектора частотно- и фазомодулированных сигналов?

47. Какие особенности построения имеют радиоприемные устройства, предназначенные для приема и обработки частотно- и фазомодулированных сигналов?

2.5 Автоматические регулировки в радиоприемных устройствах приема и обработки сигналов

Общие сведения о системах автоматических регулировок. Классификация систем радиоавтоматики. Замкнутые и разомкнутые системы автоматической регулировки. Функциональные и

структурные схемы систем радиоавтоматики. Обобщенная структурная схема систем радиоавтоматики. Основные показатели качества систем радиоавтоматики. Факторы, влияющие на качественные показатели систем радиоавтоматики.

Система автоматической регулировки усиления (АРУ). Назначение работы системы АРУ и принципы построения. Структурная и функциональная схема системы АРУ. Задержанная, усиленная, мгновенная система АРУ. Регулировочные характеристики системы автоматической регулировки усиления.

Система автоматической подстройки частоты. Назначение работы системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) и принципы построения. Структурная и функциональная схема системы АПЧ. Особенности построения устройств приема и обработки сигналов с автоматической подстройкой частоты.

Система фазовой автоподстройки. Назначение работы системы фазой автоматической подстройки (ФАП) и принципы построения. Структурная и функциональная схема системы ФАП. Особенности построения устройств приема и обработки сигналов с фазой автоматической подстройки.

Вопросы для самоконтроля

1. Какое назначение имеет система автоматической регулировки усиления?
2. Какова функциональная схема системы автоматической регулировки усиления?
3. Какие факторы влияют на показатели качества системы радиоавтоматики?
4. Какое назначение имеет система автоматической регулировки усиления в устройствах приема и обработки сигналов?
5. Какова структурная схема разомкнутой системы АРУ?
6. Какова структурная схема замкнутой системы АРУ?
7. В чем принципиальная разница между разомкнутой и замкнутой системами АРУ?
8. В чем принципиальная разница между разомкнутой и замкнутой системами АРУ?
9. Какие виды регулировочных характеристик систем АРУ вы знаете?

10. Когда используется инерционная система радиоавтоматики?

11. Когда используется задержанная система автоматической регулировки усиления?

12. Какое назначение имеет фильтр нижних частот в системе АРУ?

13. Какое назначение системы автоматической подстройки частоты?

14. Какова функциональная схема автоматической подстройки частоты?

15. Какова структурная схема автоматической подстройки частоты?

16. Что такое полоса захвата и полоса удержания в системах АПЧ?

17. Почему полоса захвата меньше полосы удержания в системах АПЧ?

18. Какая реакция системы АПЧ на дестабилизирующие факторы, влияющие на точность ее работы?

19. Какое назначение имеет система фазовой автоподстройки?

20. Когда и где используется фазовая автоподстройка (ФАП)?

21. Какова функциональная схема системы ФАП?

22. Какова структурная схема системы ФАП?

23. Чем отличается система ФАП от системы АПЧ?

2.6 Теория и техника измерения технических характеристик радиоприемных устройств

Стандартные условия измерения. Структурная схема и состав лабораторной установки по измерению технических характеристик устройств приема и обработки сигналов. Порядок работы с лабораторной установкой по измерению технических характеристик радиоприемных устройств.

Методы измерения технических характеристик устройств приема и обработки сигналов. Метод измерения диапазона принимаемых частот. Условия измерения диапазона принимаемых частот. Метод измерения реальной чувствительности радиоприемного устройства. Условия измерения реальной чувствительно-

сти радиоприемного устройства. Методика измерения избирательности радиоприемного устройства. Методика односигнального измерения избирательности радиоприемного устройства. Условия измерения избирательности. Метод измерения общей низкочастотной характеристики радиоприемного устройства. Условия измерения общей низкочастотной характеристики радиоприемного устройства. Метод измерения действия автоматической регулировки усиления.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое стандартные условия измерения устройств приема и обработки сигналов?
2. Каков состав структурной схемы лабораторной установки необходим для измерения основных технических характеристик радиоприемного устройства?
3. Зачем необходимо использование эквивалента антенны при измерении технических характеристик радиоприемных устройств?
4. Какие основные технические характеристики характеризуют показатели качества радиоприемного устройства?
5. Какие условия и каков порядок измерения диапазона рабочих частот?
6. Какие условия и каков порядок измерения реальной чувствительности радиоприемного устройства?
7. Какие условия и каков порядок односигнального измерения избирательности радиоприемного устройства?
8. Какие условия и каков порядок измерения общей низкочастотной характеристики радиоприемного устройства?
9. Какие условия и каков порядок измерения действия автоматической регулировки усиления радиоприемного устройства?

3 КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

3.1 Общие требования по выполнению контрольных работ

Студент, изучающий дисциплину «Устройства приема и обработки сигналов» должен выполнить три контрольные работы. Первая контрольная работа выполняется в компьютерном варианте. Вторая и третья контрольные работы являются текстовыми. Варианты контрольных работ выбираются по общим правилам. Текстовые контрольные содержат 90 вариантов по следующим темам дисциплины (таблица 3.1):

- общая характеристика устройства приема и обработки сигналов;
- структурные схемы линейного тракта устройства приема и обработки сигналов;
- особенности построения линейного тракта устройства приема и обработки сигналов различного назначения;
- элементы и узлы устройств приема и обработки сигналов;
- автоматические регулировки в устройствах приема и обработки сигналов;
- основы теории измерения технических характеристик.

Номер задания контрольной работы, выданного в ТМЦ ДО определяет тип радиоприемного устройства или блока (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Варианты контрольных заданий

№ и тип приемника	Вариант задания																	
	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	66	61	66	71	76	81	86
1. ПЗВ	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	66	61	66	71	76	81	86
2. ПТВ	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62	67	72	77	82	87
3. ПСВ	3	8	13	18	23	28	33	38	45	48	53	58	63	68	73	78	83	88
4. ПРЛС	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89
5. ПП	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90

Принятые обозначения номера и типа приемника в таблице 3.1:

1. ПЗВ – приемник звукового вещания.
2. ПТВ – приемник телевизионного вещания.
3. ПСВ – приемник связной.
4. ПРЛС – приемник радиолокационной станции.
5. ПП – панорамный приемник.

Контрольная работа № 1. Общая характеристика и основы построения устройства приема и обработки сигналов.

Для выполнения этой компьютерной контрольной работы необходимо знать следующие разделы:

- 1) общие характеристики устройств приема и обработки сигналов;
- 2) структурные схемы радиоприемных устройств;
- 3) особенности построения устройств приема и обработки сигналов различного назначения;
- 4) элементы и узлы радиоприемного устройства;
- 5) принципы работы автоматических регулировок в радиоприемных устройствах;
- 6) основы теории и техники измерения технических характеристик радиоприемных устройств.

Контрольная работа № 2. Расчет чувствительности устройств приема и обработки сигналов.

Для выполнения этой работы необходимо:

- 1) произвести расчет полосы пропускания радиоприемного устройства;
- 2) произвести расчет чувствительности устройства приема и обработки сигналов.

Для выполнения контрольной работы необходимо изучить следующие разделы дисциплины: общая характеристика, основные качественные показатели и структурные схемы линейных трактов устройств приема и обработки сигналов; особенности построения устройств приема и обработки сигналов различного назначения.

Контрольная работа № 3. Расчет средства избирательности и усиления устройств приема и обработки сигналов.

Для выполнения этой работы необходимо:

- 1) произвести расчет полосы пропускания радиоприемного устройства;
- 2) определить тип и количество избирательных систем, обеспечивающих заданную чувствительность;
- 3) произвести расчет коэффициента усиления узлов и элементов радиоприемного устройства.

Для выполнения контрольной работы необходимо изучить следующие разделы дисциплины: структурные схемы линейных трактов устройств приема и обработки сигналов; особенности построения устройств приема и обработки сигналов различного назначения.

Результаты решения контрольных работ необходимо представлять в электронном виде по *E-mail* (электронной почте) в числовом, текстовом или формульном вариантах. Форматы представления результатов оговариваются в каждом задании и примере отдельно. Общим в представлении промежуточных и окончательных результатов является то, что текстовая часть контрольной работы должна быть выполнена в текстовом формате или текстовом редакторе *Word* версии 6 или выше, формульная часть – средствами псевдографики или в формате *MathType*. В общих или не оговоренных случаях действуют правила, принятые ТМЦ ДО.

3.2 Контрольная работа №1. Общая характеристика и основы построения устройства приема и обработки сигналов

Данная контрольная работа содержит вопросы основ построения радиоприемных устройств и выполняется в компьютерном варианте. Для выполнения контрольной работы необходимо изучить следующие разделы дисциплины: общая характеристика и особенности построения устройств приема и обработки сигналов различного назначения.

3.2.1 Содержание компьютерной контрольной работы

Для самостоятельной подготовки к выполнению компьютерной контрольной работы необходимо изучить следующие разделы дисциплины.

1. Общая характеристика устройств приема и обработки сигналов.

1.1. Основные показатели технических характеристик устройств приема и обработки сигналов.

1.2. Классификация устройств приема и обработки сигналов.

1.3. Частотные диапазоны. Радиосигналы. Помехи.

1.4. Чувствительность устройств приема и обработки сигналов.

1.5. Избирательность устройств приема и обработки сигналов.

1.6. Стабильность технических характеристик устройств приема и обработки сигналов.

1.7. Электромагнитная совместимость и нелинейные эффекты, возникающие в линейном тракте радиоприемного устройства.

2. Структурные схемы линейного тракта устройств приема и обработки сигналов.

2.1. Обобщенная структурная схема линейного тракта устройств приема и обработки сигналов.

2.2. Детекторные устройства приема и обработки сигналов.

2.3. Устройства приема и обработки сигналов прямого усиления.

2.4. Сверхрегенеративные устройства приема и обработки сигналов.

2.5. Супергетеродинные устройства приема и обработки сигналов.

2.6. Устройства приема и обработки сигналов прямого преобразования.

2.7. Инфрадинные устройства приема и обработки сигналов.

3. Особенности построения устройств приема и обработки сигналов различного назначения.

3.1. Общие сведения по построению схем устройств приема и обработки сигналов.

3.2. Особенности построения радиовещательных устройств приема и обработки сигналов.

3.2.1. Особенности построения устройств приема и обработки сигналов систем звукового вещания.

3.2.2. Особенности построения устройств приема и обработки сигналов систем телевизионного вещания.

3.3. Особенности построения профессиональных устройств приема и обработки сигналов.

3.3.1. Структурные схемы линейного тракта профессиональных устройств приема и обработки сигналов.

3.3.2. Особенности построения устройств приема и обработки сигналов систем радиосвязи.

3.3.3. Особенности построения радиолокационных устройств приема и обработки сигналов.

3.3.4. Особенности построения панорамных устройств приема и обработки сигналов.

3.4. Особенности построения цифровых устройств приема и обработки сигналов.

4. Автоматические регулировки в устройствах приема и обработки сигналов.

4.1. Общие сведения о системах автоматических регулировок.

4.2. Система автоматической регулировки усиления.

4.3. Система автоматической подстройки частоты.

4.4. Система фазовой автоподстройки частоты.

5. Теория и техника измерения технических характеристик радиоприемных устройств.

5.1. Стандартные условия измерения.

5.2. Методы измерения технических характеристик радиовещательного приемника.

5.2.1. Метод измерения диапазона принимаемых частот.

5.2.2. Метод измерения реальной чувствительности радиоприемного устройства.

5.2.3. Односигнальная методика измерения избирательности.

5.2.4. Метод измерения общей низкочастотной характеристики.

5.2.5. Метод измерения действия автоматической регулировки усиления.

3.3 Контрольная работа № 2. Расчет чувствительности устройств приема и обработки сигналов

3.3.1 Содержание контрольной работы

Для выполнения контрольной работы необходимо произвести расчет полосы пропускания и расчет чувствительности радиоприемного устройства в соответствии с его назначением и областью его использования.

1. Провести анализ задания контрольной работы, определить назначение и область применения радиоприемного устройства и особенности его эксплуатации.

2. Рассчитать полосу пропускания и чувствительность радиоприемного устройства. Для выполнения данного блока контрольной работы необходимо:

- рассчитать эффективную ширину спектра принимаемого сигнала;
- определить величину нестабильности радиоприемного устройства;
- произвести расчет полосы пропускания;
- определить величину э.д.с. шумов и помех, наводимых в антенне;
- определить пороговую и реальную чувствительности радиоприемного устройства;
- рассчитать допустимый коэффициент шума радиоприемного устройства;
- дать рекомендации по выбору элементов и узлов радиоприемного устройства, исходя из критерия его чувствительности.

3.3.2 Краткие методические указания по расчету чувствительности устройства приема и обработки сигналов

Для расчета чувствительности радиоприемного устройства необходимо:

- 1) дать общую характеристику предложенного устройства приема и обработки сигналов;
- 2) определить полосу пропускания, с учетом нестабильностей узлов и элементов радиоприемного устройства;
- 3) в соответствии с назначением радиоприемного устройства, диапазоном рабочих частот принимаемого радиосигнала определить пороговую и реальную чувствительности;
- 4) произвести выбор значения отношения сигнал/шум и рассчитать реальную чувствительность для заданного вида модуляции.

Общая характеристика устройства приема и обработки сигналов включает в себя перечень основных показателей, классификацию радиоприемного устройства по основным критериям качества, анализ электромагнитной обстановки и оценку стабильности технических характеристик.

Полоса пропускания радиоприемного устройства определяется выражением [1]:

$$П = \Delta F_{СП} + 2\Delta F_{Д} + П_{НС}, \quad (3.1)$$

где $\Delta F_{\tilde{N}\tilde{I}}$ – эффективная ширина спектра;

$\Delta F_{\tilde{A}}$ – доплеровское смещение частоты сигнала;

$\tilde{I}_{\tilde{N}}$ – запас полосы пропускания, обусловленной нестабильностью технических характеристик и неточностью настройки радиоприемного устройства.

Эффективная ширина спектра принимаемого сигнала определяется видом модуляции.

Для амплитудно-модулированного сигнала эффективная ширина спектра определяется выражением

$$\Delta F_{\text{сп}} = 2 \cdot F_{\text{в}}, \quad (3.2)$$

где $F_{\text{в}}$ – верхняя частота модулирующего АМ сигнала.

Эффективная ширина спектра радиоприемного устройства амплитудно-манипулированного сигнала

$$\Delta F_{\text{сп}} = 0,8 \cdot n \cdot N \text{ [Гц]}, \quad (3.3)$$

где n – номер верхней реализуемой гармоники (обычно $n=3$);

N – скорость телеграфирования в стандартных пятибуквенных словах в минуту ($N=250-500$ слов/мин).

Эффективная ширина спектра АМ сигнала с одной боковой (АМ-ОБ) и подавленной несущей определяется выражением

$$\Delta F_{\text{сп}} = F_{\text{в}} - F_{\text{н}}, \quad (3.4)$$

где $F_{\text{н}}$ – нижняя частота модулирующего колебания;

$F_{\text{в}}$ – верхняя частота модулирующего колебания.

Для телевизионных приемников сигнала изображения с АМ-ОБ полоса спектра частот сигнала определяется качеством принимаемого черно-белого изображения (яркостного канала) и простирается от $F_{\text{мин}} = 25$ Гц (частота кадров) до

$$F_{\text{max}} = 0,38 \cdot k \cdot n \cdot Z^2,$$

где $k = 4/3$ – формат кадра (отношение ширины изображения к его высоте);

$n=25$ – частота кадров;

Z – требуемая четкость изображения на экране телевизионного приемника, определяемая числом строк (максимальное количество строк для телевизионных приемников $Z=625$ строк).

Эффективная ширина спектра телевизионного сигнала изображения определяется выражением

$$\Delta F = 0,38 \cdot k \cdot n \cdot Z^2. \quad (3.5)$$

Для радиоприемных устройств, предназначенных для приема и обработки сигналов монофонического вещания с угловой модуляцией, эффективная ширина спектра определяется выражением

$$\Delta F_{\text{СП}} \approx 2(F_{\text{В}} + \Delta F_{\text{ДЕВ}}), \quad (3.6)$$

где $\Delta F_{\text{ДЕВ}}$ – девиация частоты или фазы (для приемников звукового вещания $\Delta F_{\text{ДЕВ}} = 50$ кГц, для приемников телевизионного вещания по каналу звука $\Delta F_{\text{ДЕВ}} = 75$ кГц).

Для приема и обработки сигналов стереофонического вещания с угловой модуляцией, эффективная ширина спектра определяется выражением

$$\Delta F_{\text{СП}} = 2 \cdot (\Delta f_{\text{ДЕВ}} + f_{\text{ПОД}} + f_{\text{М}}), \quad (3.7)$$

где $f_{\text{ПОД}}$ – частота поднесущей комплексного сигнала приемников стереофонических сигналов (для приемников отечественного стандарта вещания $f_{\text{ПОД}} = 31,25$ кГц, для вещания стандарта с пилот-тоном $f_{\text{ПОД}} = 38$ кГц).

Величина девиации частоты в звуковом стереофоническом вещании уменьшается на 20%.

Эффективная ширина спектра радиоприемника радиоимпульсных сигналов РЛС обнаружения

$$\Delta F_{\text{СП}} = 2 \frac{0,5 \dots 0,7}{\tau_{\text{И}}}, \quad (3.8)$$

где $\tau_{\text{И}}$ – длительность радиоимпульса.

Эффективная ширина спектра радиоприемника РЛС измерения координат, скорости движения цели.

$$\Delta F_{\text{СП}} = 2 \frac{0,35 \dots 0,7}{t_y}, \quad (3.9)$$

где t_y – время установления радиоимпульса.

Эффективная ширина спектра сигнала, при панорамном параллельном обзоре, определяет разрешающую способность приемного устройства, т.е. способность различить две соседние радиостанции или отдельные спектральные составляющие [1]. Эффективная ширина спектра определяет статическую полосу пропускания

$$\Delta F_{\text{СТ}} = \frac{\Phi_0}{N}, \quad (3.10)$$

где Φ_0 – полоса обзора;

$\Delta F_{\text{СТ}}$ – статическая полоса пропускания каждого фильтра;

N – количество фильтров, необходимых для параллельного анализа заданной полосы обзора.

Эффективная ширина спектра при последовательном панорамном обзоре диапазона частот определяет динамическую полосу пропускания, определяемую соотношением

$$\Delta F_{\text{ДИН МИН}} = 0,94 \sqrt{\gamma}, \quad (3.11)$$

где $\gamma = \Phi_0 p$ – скорость изменения частоты настройки радиоприемного устройства (Гц/сек);

p – частота сканирования радиоприемного устройства (1/сек).

Оптимальная статическая полоса пропускания резонансной системы приемника последовательного обзора.

$$\Delta F_{\text{СТ МИН}} = 0,66 \sqrt{\gamma}. \quad (3.12)$$

Выражение служит основным критерием расчета разрешающей способности, а выражение определяет полосу пропускания радиоприемника.

Доплеровское смещение частоты сигналов, принимаемых от передатчика, который перемещается относительно приемника с радиальной скоростью, определяется выражением

$$\Delta F_{\text{Д}} \approx \frac{v_{\text{Р}} \cdot f_{\text{С}}}{C}, \quad (3.13)$$

где $v_{\text{Р}}$ – радиальная скорость перемещения источника радиосигналов;

$C \approx 3 \cdot 10^8$ м/сек – скорость распространения радиоволн;

$f_{\text{С}}$ – частота принимаемого радиосигнала.

Запас полосы пропускания радиоприемного устройства, обусловленной нестабильностью и неточностью настройки радиоприемного устройства на этапе проектирования принимается не более $\Pi_{\text{НС}} = 0,1 \dots 0,2 \Delta F_{\text{СП}}$.

Чувствительность радиоприемного устройства определяется свойствами приемной антенны и уровнем внутренних, внешних шумов и помех, приведенных к его входу. Предельная чувствительность приемного устройства определяется выражением

$$E_{\text{Ш}} = \sqrt{E_{\text{ВНЕШ.}}^2 + E_{\text{ВНУТ.}}^2}, \quad (3.14)$$

где $E_{\text{ВНЕШ.}}$ – э.д.с. шумов и помех, обусловленных их влиянием извне на характеристики радиоприемного устройства;

$E_{\text{ВНУТ.}}$ – э.д.с. собственных шумов и помех, приведенных к входу радиоприемного устройства.

В диапазоне рабочих частот до 100 МГц суммарное значение помех, наводимых возле антенны, определяется выражением

$$E_{\text{Ш.А}} = \sqrt{E_{\text{П1}}^2 + E_{\text{П2}}^2 + E_{\text{П3}}^2 + \dots + E_{\text{н}}^2}, \quad (3.15)$$

где $E_{П1}, E_{П2}, E_{П3}, \dots, E_n$ – напряженности полей, образованных несколькими источниками помех.

Уровень внешних помех, наводимых в *настроенной* антенне, определяется выражением

$$E_{А.п.} = E_{ША} h_{Д} \sqrt{\Pi_{Ш}}, \quad (3.16)$$

где $E_{ША}$ – суммарное значение помех, наводимых в антенне в мкВ/м;

$h_{Д}$ – действующая высота антенны в метрах;

$\Pi_{Ш}$ – шумовая полоса радиоприемного устройства в кГц.

Действующая высота антенны в радиоприемных устройствах ДВ, СВ, КВ диапазонов для случая с открытой, ненастроенной антенной составляет 10...15 метров, для случая с открытой комнатной антенной – 3...5 метров.

Действующая высота *магнитной* антенны определяется выражением

$$h_{Д} = \frac{2\pi \cdot \varpi \cdot S \cdot \mu}{\lambda \cdot d_{\mathcal{O}}}, \quad (3.17)$$

где λ – длина волны, м;

ϖ – число витков;

S – площадь одного витка, м²;

μ – магнитная проницаемость магнитной антенны;

$d_{\mathcal{O}}$ – эквивалентное затухание контура входной цепи.

Реальная чувствительность радиоприемного устройства определяется величиной, э.д.с помехи, наводимой в *настроенной* антенне при заданном коэффициенте различимости.

$$E_{А.с.} = E_{А.п} \gamma_{\text{ВЫХ}} h_{Д} \sqrt{\Pi_{Ш}}, \quad (3.18)$$

где $\gamma_{\text{ВЫХ}}$ – коэффициент различимости, определяемый отношением сигнал/шум по напряжению на выходе линейного тракта приемника (на входе детектора).

Коэффициент различимости определяется видом модуляции и назначением радиоприемного устройства [1].

Для *ненастроенной* антенны реальная чувствительность радиоприемного устройства с учетом внешних, внутренних шумов и помех определяется выражением

$$E_A = \gamma_{\text{ВЫХ}} \sqrt{E_{\text{ПОМ}}^2 h_D^2 \Pi_{\text{Ш}} + 4kT_A \Pi_{\text{Ш}} \left[N \cdot \rho \cdot \left(\frac{m \cdot d_0}{K_0 \cdot d_{\text{Э}}} \right)^2 + R_A \right]}, \quad (3.19)$$

где m – коэффициент включения первого каскада к контуру входной цепи (0,2 – 0,3 для биполярных транзисторов; 1 – для полевых);

$\gamma_{\text{ВЫХ}}$ – отношение сигнал/шум на выходе линейного тракта радиоприемного устройства;

d_0 , $d_{\text{Э}}$ – собственное и эквивалентное затухание контура входной цепи,

ρ – волновое сопротивление контура входной цепи на максимальной частоте рабочего диапазона;

K_0 – коэффициент передачи входной цепи (0,5...1 для биполярных транзисторов, 2...5 – для полевых);

N – коэффициент шума радиоприемного устройства;

R_A – активная составляющая комплексного сопротивления антенны.

В диапазоне рабочих частот до 90...100 МГц, при расчете величины э.д.с., наводимой в антенне, учитывается минимально возможный перечень помех.

В диапазоне частот свыше 100 МГц основным видом помех являются внутренние шумы радиоприемного устройства и шумы антенны. Величина уровня шума в настроенной согласованной антенне определяется формулой Найквиста

$$E_{\text{Ш.А}} = \sqrt{4kT_A R_A \Pi_{\text{Ш}}}, \quad (3.20)$$

где k – постоянная Больцмана равной $1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град;

T_A – абсолютная температура антенны в K° , зависящая от формы диаграммы направленности антенны, от характера шумовых источников, действующих в зоне радиоприема.

R_A – активная составляющая сопротивления антенны.

При расчете напряженности поля наводимых помех возле антенны, на этапе проектирования учитывают только минимальное число помех и минимальный их уровень.

Чувствительность приемного устройства в диапазоне метровых и менее длин волн в режиме *согласования* при заданном отношении сигнал/шум на выходе линейного тракта определяется выражением:

$$P_{Ac} = kT_0 \Pi_{\text{ш}} (t_A - 1 + N_{\text{пр}}) \cdot \gamma_{\text{вых}}^2, \quad (3.21)$$

где $t_A = \frac{T_A}{T_0}$ – относительная шумовая температура антенны;

T_0 – стандартная температура (290 K);

$N_{\text{пр}}$ – коэффициент шума приемника (1.16);

$\gamma_{\text{вых}} = \sqrt{\left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вых}}}$ – коэффициент различимости на выходе линейного тракта приемника.

В единицах напряжения:

$$E_A = \gamma_{\text{вых}} \sqrt{4kT_0 r_A \Pi_{\text{ш}} (t_A - 1 + N_{\text{пр}})}, \quad (3.22)$$

где r_A – сопротивление антенны (эквивалента антенны).

Для определения требований реализуемости радиоприемного устройства по критерию чувствительности используют параметр, называемый допустимым коэффициентом шума $N_{\text{доп}}$. В диапазоне ДВ, СВ и КВ, если задана э.д.с., наведенная в антенне:

$$N_{\text{доп}} = \left[\left(\frac{E_A}{\gamma_{\text{вых}}} \right)^2 - E_{\text{п}}^2 h_{\text{д}}^2 \Pi_{\text{ш}} \right] \cdot \frac{1}{4kT_0 \Pi_{\text{ш}} r_A}. \quad (3.23)$$

Если чувствительность определяется напряженностью поля сигнала

$$N_{\text{доп}} = \left[\left(\frac{E_A}{\gamma_{\text{вых}}} \right)^2 - E_{\text{п}}^2 \Pi_{\text{ш}} \right] \cdot \frac{h_{\text{д}}^2}{4kT_0 \Pi_{\text{ш}} r_A}. \quad (3.24)$$

Для диапазонов метрового и менее длин волн:

$$N_{\text{доп}} \cong K_{\text{рф}} \left[\left(\frac{P_A}{kT_0 \Pi_{\text{ш}} \gamma_{\text{вых}}^2} \right) - t_A + 1 \right], \quad (3.25)$$

где $K_{\text{рф}}$ – коэффициента передачи мощности фидерной линии (волновода) или входной цепи (ориентировочно $K_{\text{до}} = 0.5 \dots 0.8$).

Коэффициент передачи $K_{\text{рф}} = 0.5$ принимается для согласованной антенны.

На основе расчета допустимого коэффициента шума производится выбор усилительного элемента и схемы усилительных каскадов по шумовым характеристикам. При величине допустимого коэффициента шума в 2...5 раз следует учитывать шумовые характеристики входной цепи, усилительного элемента первых каскадов радиоприемного устройства, его схемы включения и способа формирования амплитудно-частотной характеристики. При величине 5...10 раз необходимо учитывать внешние шумы и помехи, наведенные в антенне, шумовые свойства входной цепи и первого каскада усилителя или преобразователя частоты. При величине коэффициента шума более 10 раз следует учитывать только внешние шумы и помехи, наведенные в антенне.

3.3.3 Задания к контрольной работе №2

В контрольной работе №2 предлагается рассчитать полосу пропускания, пороговую и реальную чувствительность, допустимый коэффициент шума радиоприемного устройства. Тип радиоприемного устройства выбирается из данных таблицы 3.1 и таб-

лицы 3.2. В качестве объектов расчета параметров радиоприемника предложены:

- радиоприемник звукового вещания;
- радиоприемник телевизионного вещания;
- радиоприемник связной;
- радиоприемник радиолокационной станции;
- радиоприемник панорамный.

Блок заданий по приемникам звукового вещания включают в себя радиоприемные устройства ДВ, СВ, КВ и УКВ диапазонов, предназначенные для обработки сигналов с АМ и ЧМ модуляцией. Заданные технические характеристики радиоприемного устройства звукового вещания определены данными таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Блок заданий по расчету устройств приема и обработки сигналов звукового вещания

№ варианта	Диапазон частот, МГц	Сопротивление антенны, Ом	Действующая высота антенны, м	Вид модуляции	Девияция частоты, кГц	Индекс модуляции	Частота поднесущей, кГц	Частота модуляции, кГц
1	0,15...0,30	200	5	АМ				0,1...3,5
6	0,3...0,45	250	5	АМ				0,1...4
11	0,150...0,415	200	5	АМ				0,1...3,0
16	0,525...1,100	250	2	АМ				0,05...1,10
21	1,100...1,605	200	2	АМ				0,05...3
26	0,525...1,605	200	5	АМ				0,1...4,0
31	3,95...5,75	100	2	АМ				0,1...3,0
36	7,1...7,3	100	1	АМ				0,1...3,0
41	9,500...9,775	100	1	АМ				0,1...3,5
46	11,70...12,10	75	1	АМБ				0,1...3,8
51	12,0...14,10	75	1	АМ				0,1...3,5
56	27,1...27,5	75	5	АМ				0,1...3,5
61	27...28	75	5	ЧМ		1,2		0,1...4
66	42...43	75	1	ЧМ		1,1		0,1...4
71	65...75	75	1	ЧМ	50		31,25	0,05...10
76	65...75	75	0,75	ЧМ	50			0,05...15
81	100...108	75	0,75	ЧМ	50		38	0,1...10
86	100...108	75	0,75	ЧМ	75			0,1...15

Блок заданий по приемникам телевизионного вещания включает в себя радиоприемные устройства метрового и дециметрового диапазона длин волн, предназначенные для обработки сигналов с АМ-ОБ и ЧМ модуляцией. Технические характеристики радиоприемного устройства телевизионного вещания определены данными таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – Блок заданий по расчету устройств приема и обработки сигналов телевизионного вещания

№ варианта	Номер телевизионного канала	Сопровиление антенны, Ом	Действующая высота антенны, м	Вид модуляции, сигнала изображения	Четкость изображения, стр.	Вид модуляции сигнала звука	Девияция частоты, кГц	Частота модуляции сигнала звука, кГц
2	1	300		АМ-ОБ	400	ЧМ	75	0,15...8,00
7	2	300		АМ-ОБ	425	ЧМ	75	0,1...9,0
12	3	300		АМ-ОБ	450	ЧМ	75	0,1...10,0
17	4	300		АМ-ОБ	475	ЧМ	75	0,07...11,00
22	10	75	1	АМ-ОБ	500	ЧМ	75	0,07...12,00
27	12	75	1	АМ-ОБ	525	ЧМ	75	0,06...12,00
32	21	75	1	АМ-ОБ	550	ЧМ	50	0,05...12,500
37	23	75		АМ-ОБ	575	ЧМ	50	0,05...13,00
42	25	50		АМ-ОБ	600	ЧМ	50	0,04...14,00
47	27	50		АМ-ОБ	625	ЧМ	50	0,03...15,00
52	30	50		АМ-ОБ	450	ЧМ	50	0,1...10,0
57	52	50		АМ-ОБ	475	ЧМ	50	0,07...11,00
62	35	75		АМ-ОБ	500	ЧМ	75	0,07...12,00
67	40	75		АМ-ОБ	525	ЧМ	75	0,06...12,00
72	45	75		АМ-ОБ	550	ЧМ	75	0,05...12,500
77	50	75		АМ-ОБ	575	ЧМ	75	0,05...13,00
82	55	75		АМ-ОБ	600	ЧМ	75	0,04...14,00
87	60	75		АМ-ОБ	625	ЧМ	75	0,03...15,00

Блок заданий по связным радиоприемникам включает в себя радиоприемные устройства КВ-, Си-Би- и УКВ-диапазонов и предназначенные для обработки сигналов с АМ-, АМ-ОБ- и ЧМ-модуляцией. Задаваемые технические характеристики связного радиоприемного устройства определены данными таблицы 3.4.

Таблица 3.4 – Блок заданий по расчету устройств приема и обработки сигналов систем связи

№ варианта	Диапазон частот, МГц	Сопротивление антенны, Ом	Действующая высота антенны, м	Вид модуляции	Индекс модуляции	Девияция частоты, МГц	Частота модуляции, кГц
3	11,5...12,1	75	1	АМ-ОБ			0,10...3,00
8	26...27	75	1	АМ			0,10...3,00
13	27,00...27,10	75	1	ЧМ	1,2		0,05...3,00
18	27,15...27,20	75	1	ФМ	1,2		0,05...3,50
23	88...108	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,05	0,05...5,00
28	146...148	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,05	0,05...5,00
33	156...162	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,05	0,05...6,00
38	164...168	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,05	0,05...8,00
43	465...470	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,075	0,05...10,00
48	473...475	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,075	0,05...10,00
53	890...915	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,075	0,05...10,00
58	935...960	75	$\lambda/4$	ЧМ		0,075	0,05...10,00
63	3700...4200	75		ЧМ		1,0	0,1...30,0
68	4000...6000	75		ЧМ		1,0	0,1...40,0
73	5900...4600	75		ЧМ		2,0	0,2...50,0
78	11700...12200	75		ЧМ		10,0	0,5...100,0
83	12000...17000	75		ЧМ		25,0	0,5...200,0
88	14000...16000	75		ЧМ		50,0	0,5...500,0

Блок заданий по радиоприемным устройствам радиолокационной станции включает в себя радиоприемные устройства, предназначенные для обработки импульсных одиночных и последовательных радиосигналов. Задаваемые технические характеристики радиоприемного устройства радиолокационной станции определены данными таблицы 3.5.

Таблица 3.5 – Блок заданий по расчету устройств приема и обработки сигналов радиолокационных станций

№ варианта	Назначение и способ обработки радиоимпульса	Длина волны, м	Сопроотивление антенно-фидерной системы, Ом	Вид модуляции	Длительность радиоимпульса, мкс	Время установления радиоимпульса, мкс	Сквозность последовательности радиоимпульсов
4	Измерение	10	75	ИМ	10	1	100
9	Обнаружение	9	75	ИМ	9	0,9	95
14	Измерение	8	75	ИМ	8	0,8	80
19	Обнаружение	7	75	ИМ	7	7	75
24	Измерение	6	75	ИМ	6	6	70
29	Обнаружение	5	75	ИМ	5	5	65
34	Измерение	4	75	ИМ	4	4	60
39	Обнаружение	3	50	ИМ	3	3	55
44	Измерение	2	50	ИМ	2	2	50
49	Обнаружение	1,5	50	ИМ	1,5	1,5	45
54	Измерение	1	50	ИМ	1	1	40
59	Обнаружение	0,5	50	ИМ	0,5	0,5	35
64	Измерение	0,4	50	ИМ	0,4	0,4	30
69	Обнаружение	0,3	50	ИМ	0,3	0,3	25
74	Измерение	0,2	50	ИМ	0,2	0,2	20
79	Обнаружение	0,1	50	ИМ	0,1	0,1	15
84	Измерение	0,05	50	ИМ	0,05	0,05	10
89	Обнаружение	0,03	50	ИМ	0,03	0,03	5

Блок заданий по панорамным радиоприемным устройствам включает в себя радиоприемные устройства КВ-, Си-Би- и УКВ-диапазонов и предназначенные для обработки сигналов с АМ, АМ-ОБ- и ЧМ-модуляцией. Технические характеристики определяются данными таблицы 3.5. Основным назначением панорамных радиоприемных устройств является мониторинг электромагнитной обстановки и обнаружение несанкционированных источников электромагнитных излучений. При выполнении данного задания необходимо исходить из метода анализа. В таблице представлены последовательный (Посл.), параллельный (Парал.) и комбинированный (Комб.) методы анализа.

Таблица 3.6 – Блок заданий по расчету устройств приема и обработки сигналов панорамных радиотехнических систем

№ варианта	Диапазон частот, МГц	Тип обзора	Сопротивление антенны, Ом	Действующая высота антенны, м	Вид модуляции	Разрешающая способность, кГц	Время обзора, мс
5	0,15...0,30	Послед.	200	5	АМ	10	1000
10	0,3...0,45	Парал.	250	5	АМ	10	900
15	0,150...0,415	Комбин.	200	5	АМ	10	800
20	0,525...1,100	Послед.	250	2	АМ	10	700
25	1,100...1,605	Парал.	200	2	АМ	10	600
30	0,525...1,605	Комбин.	200	5	АМ	10	500
35	3,95...5,75	Послед.	100	2	АМ	10	400
40	7,1...7,3	Парал.	100	1	АМ	10	300
45	9,500...9,775	Комбин.	100	1	АМ	10	200
50	11,70...12,10	Послед.	75	1	АМБ	10	100
55	12,0...14,10	Парал.	75	1	АМ	10	90
60	27,1...27,5	Комбин.	75	5	АМ, ЧМ	15	80
65	27...28	Послед.	75	5	АМ, ЧМ	15	70
70	42...43	Парал.	75	1	АМ, ЧМ	25	60
75	50...100	Комбин.	75	1	АМ, ЧМ	200	50
80	100...150	Послед.	75	0,75	АМ, ЧМ	250	40
85	150...300	Парал.	50	0,5	АМ, ЧМ	500	30
90	300...500	Комбин.	50	0,5	АМ, ЧМ	500	20

3.3.4 Пример выполнения контрольной работы

В качестве примера представим расчет параметров телевизионного радиоприемника, имеющего следующие исходные данные.

Задание и исходные данные. Рассчитать полосу пропускания, чувствительность и допустимый коэффициент шума телевизионного устройства приема и обработки сигналов изображения.

Технические требования к радиоприемному устройству.

Диапазон рабочих частот – 5 канал.

Вид модуляции – АМ-ОБ; четкость – 600 строк.

Сопротивление антенны – 75 Ом.

Пример расчета

1. Общая характеристика устройства приема и обработки сигналов

В данном разделе необходимо представить общую характеристику устройства приема и обработку сигналов, перечень основных технических показателей. На основе классификации радиоприемных устройств дать анализ электромагнитной обстановки, влияния внешних шумов и помех на чувствительность и дать оценку стабильности технических характеристик.

2. Расчет полосы пропускания

Полоса пропускания телевизионного приемника изображения определяется выражением [1]

$$П = \Delta F_{\text{СП}} + 2\Delta F_{\text{Д}} + П_{\text{НС}},$$

где $\Delta F_{\text{СП}}$ – эффективная ширина спектра;

$\Delta F_{\text{Д}}$ – доплеровское смещение частоты сигнала;

$П_{\text{НС}}$ – запас полосы пропускания, обусловленной нестабильностью и неточностью настройки радиоприемного устройства.

Эффективная ширина спектра принимаемого сигнала определяется видом модуляции. В данном случае используется амплитудная модуляция с частично подавленной несущей частотой, поэтому эффективная ширина спектра определяется верхней частотой модулирующего сигнала.

$$\Delta F_{\text{СП}} = F_{\text{max}}.$$

Верхняя частота модулирующего сигнала определяет четкость изображения на экране телевизионного приемника. Выражение для определения эффективной ширины спектра будет иметь вид

$$\Delta F_{\text{сп}} = F_{\text{max}} = 0,38 \cdot k \cdot n \cdot Z^2 = 4.56 \cdot 10^6 \text{ Гц},$$

где $k = 4/3$ – формат кадра (отношение ширины изображения к его высоте);

$n = 25$ – частота кадров;

Z – требуемая четкость изображения на экране телевизионного приемника, определяемая числом строк (четкость строк для телевизионного приемника в нашем случае $Z = 600$ строк).

Доплеровское смещение $\Delta F_{\text{Д}} = 0$, т.к. в нашем случае источник сигнала и приемник стационарного исполнения.

Запас полосы пропускания, связанного с нестабильностью работы радиоприемного устройства

$$\Pi_{\text{НС}} = 0.1 \cdot \Delta F_{\text{сп}} = 0.456 \cdot 10^6 \text{ МГц}.$$

Полоса пропускания радиоприемного устройства с учетом нестабильности характеристик $\Pi = 5.016 \cdot 10^6 \text{ Гц}$.

3. Расчет чувствительности телевизионного приемного устройства

Анализ исходных данных дает возможность использования настроенной, согласованной антенны, т.к. радиоприемное устройство имеет фиксированную настройку. Для расчета пороговой чувствительности радиоприемного устройства в диапазоне частот 100 МГц и выше достаточно произвести учет собственных шумов, поэтому выше воспользуемся расчетом чувствительности, справедливого для радиоприемных устройств в диапазоне метровых и менее длин волн (3.21)

$$E_{\text{ш.А}} = \sqrt{4kT_{\text{А}} R_{\text{А}} \Pi_{\text{ш}}} = \sqrt{4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 75 \cdot 1.1 \cdot 5.016 \cdot 10^6} = 4.78 \text{ мкВ},$$

где $\Pi_{\text{ш}} = 1.1 \Pi$.

Для расчета реальной чувствительности достаточно воспользоваться выражением

$$E_{\text{С}} = \gamma_{\text{ВЛХ}} \cdot E_{\text{ш.А}} = (10 \dots 15) \cdot 4.78 \cdot 10^{-6} = 47.8 \text{ мкВ},$$

где $\gamma_{\text{ВЫХ}}$ – коэффициент различимости, определяемый отношением сигнала/шум по напряжению на выходе линейного тракта приемника (для нашего случая АМ-ОБ $\gamma_{\text{ВЫХ}} = 10 \dots 15$).

4. Расчет допустимого коэффициента шума радиоприемного устройства

Оценка с помощью допустимого коэффициента шума позволяет сформулировать шумовые требования, предъявляемые к радиоприемному устройству. Допустимый коэффициент шума определяется выражением (3. 24).

$$N_{\text{ДОП}} \cong K_{\text{РФ}} \left[\left(\frac{P_A}{k T_0 \Pi_{\text{Ш}} \gamma_{\text{ВЫХ}}^2} \right) - t_A + 1 \right] =$$

$$= 0.5 \cdot \left[\frac{(7.089 \cdot 10^{-6})^2}{1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 5.518 \cdot 10^6 \cdot 10^2} - \frac{1000}{300} + 1 \right] = 13.5 \text{ [раз]},$$

где $K_{\text{РФ}} = 0.5$, т.к. в нашем случае используется согласованная антенна;

$P_A = \frac{E_a^2}{R_A}$ – мощность сигнала на входе радиоприемного устройства.

Полученная величина допустимого коэффициента шума показывает необходимость учета как внешних, так и внутренних источников помех и шумов.

3.4 Контрольная работа № 3. Расчет средств избирательности и усиления устройств приема и обработки сигналов

Для выполнения контрольной работы необходимо изучить следующие разделы дисциплины: структурные схемы линейных трактов устройств приема и обработки сигналов; особенности построения устройств приема и обработки сигналов различного назначения.

3.4.1 Содержание контрольной работы

Для выполнения контрольной работы необходимо:

- 1) провести анализ исходных данных и дать краткую характеристику разрабатываемого радиоприемного устройства;
- 2) рассчитать полосу пропускания радиоприемного устройства, исходя из вида модуляции и его назначения с учетом нестабильностей;
- 3) определить коэффициент прямоугольности избирательной системы радиоприемного устройства;
- 4) определить тип и количество избирательных систем, обеспечивающих заданную избирательность по соседнему каналу;
- 5) произвести оценку физической реализуемости избирательных систем с целью выбора структурной схемы линейного тракта радиоприемного устройства;
- 6) произвести выбор и обоснование структурной схемы радиоприемного устройства;
- 7) произвести расчет коэффициента усиления узлов и элементов радиоприемного устройства.

3.4.2 Краткие методические указания по расчету средств избирательности и усиления устройства приема и обработки сигналов

Расчет структурной схемы устройства приема и обработки сигналов выполняется в два этапа: выбор средств избирательности и расчет коэффициента усиления всего радиоприемного устройства и отдельных его узлов и элементов.

Расчет количества и типа избирательных цепей радиоприемного устройства. Расчет полосы пропускания производится в соответствии с назначением радиоприемного устройства и видом модуляции по алгоритму, изложенному выше (раздел 3.2.2). По данным расчета полосы пропускания и требованиям избирательности по соседнему каналу рассчитывается коэффициент прямоугольности избирательной системы радиоприемника. Коэффициент прямоугольности избирательных систем определяется выражением

$$K_{\text{ПР}} = \frac{2\Delta f_{\text{СОС}}}{\Pi}, \quad (3.26)$$

где $\Delta f_{\text{СОС}}$ – величина отстройки по частоте принимаемого канала относительно несущей полезного принимаемого сигнала;

Π – полоса пропускания радиоприемного устройства.

Полоса пропускания радиоприемного устройства связана с полосой пропускания единичного колебательного контура соотношением

$$\Pi_{\text{ед}} = \Pi \cdot \Psi(n), \quad (3.27)$$

где $\Psi(n)$ – функция расширения, зависящая от типа и количества избирательных систем.

Выбор типа и количество избирательных цепей по заданным требованиям избирательности (σ , дБ) по соседнему каналу проводится на основе данных таблицы (таблица 3.2). Для этого необходимо по строке заданной избирательности определить ячейку, которая включает, рассчитанный ранее, коэффициент прямоугольности и имеющий равное или меньшее его значение для различных типов избирательных систем. Затем определяется число избирательных систем n . При проектировании устройств приема радиоимпульсных сигналов с повышенными требованиями к их форме (радиоприемники обнаружения, измерение координат, скорости и местоположения цели) учитывают также и требования технического задания по уровню их искажения (δ , %). Для сложных многоконтурных избирательных систем (ФСС) уровень искажения формы радиоимпульса превышает 10 и более процентов. Поэтому использование ФСС в приемных устройствах радиопульсных сигналов не рекомендуется.

Пример.

Дано: Избирательность по соседнему каналу $\sigma_{\text{сос}} = 20$ дБ при $\Delta f_{\text{СОС}} = 10$ кГц.

Полоса пропускания радиоприемного устройства $\Pi = 7$ кГц.

Решение:

$$K_{\text{ПР}} = \frac{2\Delta f_{\text{СОС}}}{\Pi} = \frac{2 \cdot 10^4}{7 \cdot 10^3} = 2.857 \text{ [раз]}.$$

Проведем анализ возможных структурных схем построения селективного тракта радиоприемного устройства на основе данных, представленных в таблице 3.2. Кроме этого, необходимо определить и функцию расширения, связанную с типом и количеством избирательных систем.

1. Анализ избирательной системы на основе одиночного колебательного контура.

Тип избирательной системы	Функции	Число избирательных систем, l !											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Одиночный резонансный контур	$\psi(n)$	1,0	1,56	1,96	2,30	2,59	2,86	3,10	3,32	3,53	3,79	3,92	4,1
	$\Phi(n)$	1,00	2,41	7,55	27,9	117	545	2750	$15 \cdot 10^3$	$86 \cdot 10^3$	$52 \cdot 10^4$	$34 \cdot 10^5$	$23 \cdot 10^6$
	$\sigma = 20\text{дБ}$	9,95	4,66	3,74	3,38	3,19	3,07	2,99	2,93	2,89	2,86	2,83	2,81

Число избирательных систем $l = 11$.

Функция расширения $\psi(11) = 3,92$.

2. Анализ избирательной системы на основе взаимно расстроенных двоек при критической расстройке.

Тип избирательной системы	Функции	Число избирательных систем, l											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Взаимно расстроенные двойки при критической рас-	$\psi(n)$		0,71		0,88		0,99		1,07		1,14		1,20
	$\Phi(n)$		1,00		2,41		7,55		27,9		117		575
	$\sigma = 20\text{дБ}$		3,15		2,20		1,94		1,84		1,79		1,75
	$\delta, \%$		4,3		6,3		7,5		8,5		9,3		10,1

Число избирательных систем $l = 4$.

Функция расширения $\psi(11) = 0,88$.

3. Анализ избирательной системы на основе взаимно расстроенных двоек при предельной расстройке.

Тип избирательной системы	Функции	Число избирательных систем, l											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Взаимно расстроенные двойки при предельной рас-	$\psi(n)$		0,32		0,48		0,55						
	$\Phi(n)$		0,55		0,64		0,93						
	$\sigma = 20\text{дБ}$		2,32		2,2		1,94						
	$\sigma = 40\text{дБ}$		7,1		3,9		3,0						

Число избирательных систем $n = 2$.

Функция расширения $\psi(11) = 0,32$.

4. Анализ избирательной системы на основе взаимно расстроенных троек при критической связи.

Тип избирательной системы	Функции	Число избирательных систем, n											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Взаимно расстроенные тройки при критической	$\psi(n)$			0,5			0,58						
	$\Phi(n)$			1,0			2,41						
	$\sigma=20\text{дБ}$			2,16			1,67						
	$\sigma=40\text{дБ}$			4,64			2,5						

Число избирательных систем $n = 3$.

Функция расширения $\psi(11) = 0,5$.

5. Анализ избирательной системы на основе взаимно расстроенных двоек при критической связи.

Тип избирательной системы	Функции	Число избирательных систем, n											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Два связанных контура, настроенные на одну частоту, при критической	$\psi(n)$	0,71	0,88	0,99	1,07	1,14	1,20	1,25	1,29	1,33	1,37	1,40	1,43
	$\Phi(n)$	1,41	3,11	7,77	21,1	61,3	187	593	1950	6640	$23 \cdot 10^3$	$83 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^4$
	$\sigma=20\text{дБ}$	3,15	2,16	1,94	1,84	1,79	1,75	1,73	1,71	1,70	1,69	1,69	1,68
	$\sigma=40\text{дБ}$	10,0	3,93	2,98	2,63	2,44	2,34	2,26	2,21	2,17	2,14	2,12	2,10
	$\delta, \%$	4,3	6,3	7,5	8,5	9,3	10,1	10,8	11,4	12	12,5		

Число избирательных систем $n = 2$.

Функция расширения $\psi(11) = 0,88$.

6. Анализ избирательной системы на основе взаимно расстроенных двоек при предельной связи.

Тип избирательной системы	Функции	Число избирательных систем, n											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Два связанных контура, настроенные на одну частоту, при предельной связи	$\psi(n)$	0,32	0,46	0,55	0,61	0,67	0,7						
	$\Phi(n)$	0,64	0,86	1,3	2,2	4,1	7,6						
	$\sigma=20\text{дБ}$	2,32	1,67	1,54	1,48	1,45	1,43						
	$\sigma=40\text{дБ}$	7,1	2,9	2,2	2,0	1,85	1,8						
	$\sigma=60\text{дБ}$	22	5,5	3,2	2,6	2,4	2,2						

Число избирательных систем $l = 1$.

Функция расширения $\psi(11) = 0,32$.

Анализ других вариантов построения избирательной системы радиоприемника необходимо провести самостоятельно. Для исходных данных дальнейший анализ проводить нецелесообразно. Это связано с тем, что более сложные системы позволяют получить избыточную избирательность, которая может быть экономически и технологически трудной реализуемо.

Таблица 3.7 – Выбор типа и количество избирательных систем

Тип избирательной системы	Функции	Число избирательных систем, l											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Одиночный резонансный контур	$\psi(n)$	1,0	1,56	1,96	2,30	2,59	2,86	3,10	3,32	3,53	3,79	3,92	4,1
	$\Phi(n)$	1,00	2,41	7,55	27,9	117	545	2750	$15 \cdot 10^3$	$86 \cdot 10^3$	$52 \cdot 10^4$	$34 \cdot 10^5$	$23 \cdot 10^6$
	$\sigma=20\text{дБ}$	9,95	4,66	3,74	3,38	3,19	3,07	2,99	2,93	2,89	2,86	2,83	2,81
	$\sigma=40\text{дБ}$	100	15,5	8,89	6,90	5,98	5,45	5,20	4,89	4,72	4,59	4,49	4,41
	$\sigma=60\text{дБ}$	1000	49,1	19,5	12,7	9,99	8,57	7,72	7,15	6,74	6,45	6,21	6,03
Взаимно расстроенные двойки при критической расстройке	$\psi(n)$		0,71		0,88		0,99		1,07		1,14		1,20
	$\Phi(n)$		1,00		2,41		7,55		27,9		117		575
	$\sigma=20\text{дБ}$		3,15		2,20		1,94		1,84		1,79		1,75
	$\sigma=40\text{дБ}$		10,1		3,93		2,98		2,63		2,44		2,34
	$\sigma=60\text{дБ}$		31,6		7,01		4,42		3,57		3,16		2,93
	$\delta, \%$		4,3		6,3		7,5		8,5		9,3		10,1
Взаимно расстроенные двойки при предельной расстройке	$\psi(n)$		0,32		0,48		0,55						
	$\Phi(n)$		0,55		0,64		0,93						
	$\sigma=20\text{дБ}$		2,32		2,2		1,94						
	$\sigma=40\text{дБ}$		7,1		3,9		3,0						
	$\sigma=60\text{дБ}$		22		7,0		4,4						
Взаимно расстроенные тройки при критической расстройке	$\psi(n)$			0,5			0,58						
	$\Phi(n)$			1,0			2,41						
	$\sigma=20\text{дБ}$			2,16			1,67						
	$\sigma=40\text{дБ}$			4,64			2,5						
	$\sigma=60\text{дБ}$			10,0			3,66						
Два связанных контура, настроенные на одну частоту, при критической связи	$\psi(n)$	0,71	0,88	0,99	1,07	1,14	1,20	1,25	1,29	1,33	1,37	1,40	1,43
	$\Phi(n)$	1,41	3,11	7,77	21,1	61,3	187	593	1950	6640	$23 \cdot 10^3$	$83 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^4$
	$\sigma=20\text{дБ}$	3,15	2,16	1,94	1,84	1,79	1,75	1,73	1,71	1,70	1,69	1,69	1,68
	$\sigma=40\text{дБ}$	10,0	3,93	2,98	2,63	2,44	2,34	2,26	2,21	2,17	2,14	2,12	2,10
	$\sigma=60\text{дБ}$	31,6	7,01	4,42	3,57	3,16	2,93	2,78	2,67	2,60	2,54	2,49	2,46
	$\delta, \%$	4,3	6,3	7,5	8,5	9,3	10,1	10,8	11,4	12	12,5		
Два связанных контура, настроенные на одну частоту, при предельной связи	$\psi(n)$	0,32	0,46	0,55	0,61	0,67	0,7						
	$\Phi(n)$	0,64	0,86	1,3	2,2	4,1	7,6						
	$\sigma=20\text{дБ}$	2,32	1,67	1,54	1,48	1,45	1,43						
	$\sigma=40\text{дБ}$	7,1	2,9	2,2	2,0	1,85	1,8						
	$\sigma=60\text{дБ}$	22	5,5	3,2	2,6	2,4	2,2						

Окончание табл. 3.7

Тип избирательной системы		Функции	Число избирательных систем, n											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пара одноконтурных и 2-х контурных каскадов при предельной связи в 2-х контурном каскаде		$\psi(n)$		0,5		0,58		0,63						
		$\Phi(n)$		1,16		2,45		5,52						
		$\sigma=20\text{дБ}$		2,15		1,67		1,55						
		$\sigma=40\text{дБ}$		6,64		2,5		2,2						
		$\sigma=60\text{дБ}$		10,0		3,67		2,87						
ФСС с предельной связи	4-х контурный	$\psi(n)$	0,38	0,385										
		$\sigma=40\text{дБ}$	2,2	1,3										
		$\sigma=60\text{дБ}$	3,7	1,7										
	5-и контурный	$\psi(n)$	0,35	0,385										
		$\sigma=40\text{дБ}$	1,5	1,2										
		$\sigma=60\text{дБ}$	2,7	1,5										
	6-и контурный	$\psi(n)$	0,35	0,385										
		$\sigma=40\text{дБ}$	1,5	1,15										
		$\sigma=60\text{дБ}$	2,2	1,3										

Здесь $\psi(n)$ – функция расширения; $\Phi(n)$ – функция усиления, зависящая от типа и количества избирательных систем; $\delta, \%$ – выброс радиопимпульса, в процентах; $K_{\text{отс}} 40\text{дБ}$ – коэффициент прямоугольности по заданному уровню отсчета (40 дБ).

Оценка физической реализуемости избирательных систем с целью выбора структурной схемы линейного тракта радиоприемного устройства. Оценка физической реализуемости производится на основе анализа добротности единичного колебательного контура, определяемая выражением

$$Q_{\text{ед}} = \frac{f_0}{\Pi_{\text{ед}}}, \quad (3.28)$$

где f_0 – частота настройки избирательных систем.

Ориентировочные значения добротности единичного колебательного контура представлены в таблице 3.8. В таблице представлены эквивалентные добротности колебательных контуров с учетом вносимого затухания, выполненных на основе дискретных L, C -контуров и на основе ультразвуковых фильтров.

Таблица 3.8 – Рекомендуемые значения нагруженной добротности для различных частот рабочего диапазона

Частота, МГц	0,1...0,4	0,2...0,6	1,5...5	5...20	20...80	80 и более
Добротность нагруженная L, C -контуров	100...150	80...120	80...100	50...80	30...50	30...40
Добротность ультразвуковых фильтров	250...600					

Значения индуктивности колебательного контура избирательной системы на сосредоточенных элементах для различного частотного диапазона могут быть выбраны из таблицы 3.9.

Таблица 3.9 – Рекомендуемые значения индуктивности колебательного контура избирательной системы

f , МГц	0,1...0,5	0,5...1,0	1...5	5...10	10...20	20...40	40...100	>100
L , мкГ	1000...400	400...250	250...20	20...10	10...5	5...0,8	0,8...0,05	>0,01

Анализ физической реализации избирательных систем заключается в следующем:

- в определении количества перестраиваемых колебательных контуров;
- в оценке физической реализуемости единичного колебательного контура.

Первое обстоятельство определяется назначением радиоприемного устройства. Если радиоприемник предназначен для работы с фиксированной настройкой, то достаточно рассмотреть второе обстоятельство. Если радиоприемник диапазонного типа, то реализация возможна при условии, что количество одиночных колебательных контуров не более трех. Второе обстоятельство определяет реализацию нагруженной добротности единичного колебательного контура. Если необходимая нагруженная добротность контура превышает значения, приведенные в таблице 3.3, то реализация радиоприемного по схеме прямого усиления не представляется возможным. В этом случае необходим расчет более сложной структурной схемы радиоприемного устройства.

Выбор и обоснование структурной схемы радиоприемного устройства супергетеродинного типа по критерию избирательности.

При проектировании радиоприемного устройства наиболее важным является правильный выбор промежуточной частоты, количество преобразований частоты. Выбор промежуточной частоты, по критерию избирательности, по соседнему и дополнительным каналам приема производится, исходя из удовлетворения следующих требований:

- обеспечение необходимой избирательности по соседнему каналу при конструктивно осуществимых добротностях контуров усилителя промежуточной частоты;
- обеспечение заданной избирательности преселектора на зеркальной частоте.

Для обеспечения требуемой избирательности по соседнему каналу применяются одноконтурные, двухконтурные и многозвенные LC -фильтры. В этом случае *максимальное значение промежуточной частоты* определяется физической реализуемостью единичного колебательного контура, удовлетворяющее условию:

$$f_{\text{пр. max}} < \Pi \cdot Q_{\text{Э}} \cdot \Psi(n_{\text{ПЧ}}), \quad (3.29)$$

где Π – полоса пропускания радиоприемного устройства (усилителя промежуточной частоты);

$Q_{\text{Э}}$ – результирующая добротность усилителя промежуточной частоты.

Результирующая добротность усилителя промежуточной частоты определяется физической реализуемостью и определяется выражением (3.26).

Минимальное значение промежуточной частоты определяется избирательными свойствами преселектора, определяющего избирательность по зеркальному и прямому каналам приема. Избирательная система преселектора, как правило, должна содержать не более двух-трех идентичных одиночных колебательных контуров, выполненных на дискретных элементах. Величина полосы пропускания преселектора не должна влиять на АЧХ радиоприемного устройства. На этапе расчета структурной схемы

преселектора по критерию избирательности по дополнительным каналам приема (зеркальном, прямом) необходимо обеспечение следующих условий.

$$\begin{cases} \Pi_{\text{ПРЕС.}} \geq 3 \cdot \Pi; \\ Q_{\text{Э.ЕД.}} = \frac{f_{0\min}}{\Pi_{\text{ПРЕС.ЕД.}}}, \end{cases} \quad (3.30)$$

где $\Pi_{\text{ПРЕС.}}$ – полоса пропускания преселектора на минимальной частоте диапазона принимаемых частот;

$f_{0\min}$ – минимальная частота диапазона принимаемых частот;

$\Pi_{\text{ПРЕС.ЕД.}}$ – полоса пропускания одного колебательного контура на минимальной частоте диапазона принимаемых частот.

Величина добротности колебательного контура преселектора определяется данными таблицы 3.3. *Минимальное значение промежуточной частоты* выбирается из условия [11]

$$f_{\text{ПР.мин}} > \frac{f_{0\max} \cdot \Pi_{\text{ПРЕС}} \sqrt{(1 + a^2) \cdot \sigma_{\text{ЗЕРК}}}}{4Q_{\text{Э.ВЧ}}}, \quad (3.31)$$

где $f_{0\max}$ – максимальная частота настройки радиоприемного устройства;

$\sigma_{\text{ЗЕРК}}$ – заданная избирательность по зеркальному каналу;

$Q_{\text{Э.ВЧ}}$ – результирующая добротность контуров преселектора;

$\Pi_{\text{ПРЕС}}$ – число контуров в преселекторе, включая контур входной цепи;

a – параметр рассогласования входной цепи и антенного устройства.

Параметр рассогласования входной цепи с антенной связан с добротностью контура входной цепи выражением

$$Q_{\Theta.ВЦ} = \frac{Q_{\Theta.УРЧ}}{1 + a^2}, \quad (3.32)$$

где $a = 1$ – при согласовании по мощности;

$a = 1.5 \dots 2$ – при оптимальном рассогласовании по шумам;

$a \leq 0.5$ – при работе с ненастроенной антенной.

Варианты результатов расчета промежуточной частоты представлены на рис. 3.1, а, б. Анализ результатов расчета промежуточной частоты показывает, что если удовлетворяются условия (3.28) и (3.30), то радиоприемное устройство строится по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты (рис. 3.1, а). Если результаты не удовлетворяют этим условиям (рис. 3.1, б), то необходимо произвести замену схемы избирательных цепей преселектора на более сложные колебательные системы или перейти к расчету радиоприемного устройства с двойным преобразованием частоты.

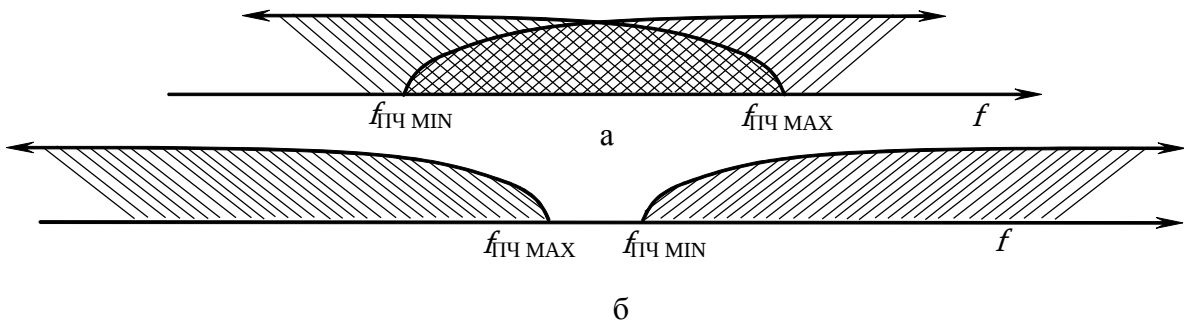


Рис. 3.1 – К анализу расчета промежуточной частоты

Для обеспечения условий (3.28) и (3.30) усложнением схемы избирательных цепей преселектора рассмотрим некоторые из них. При использовании двухконтурной входной цепи и одноконтурных усилителей радиочастоты минимальное значение промежуточной частоты определяется выражением

$$f_{ПЧ.min} > \frac{f_{0max}}{4Q_{\Theta.ВЦ}} \cdot n_{ПРЕС} \sqrt{\frac{(1 + a^2) \cdot (1 + \eta^2) \cdot \sigma_{ЗЕРК}}{1 - a^2 \eta^2}}, \quad (3.33)$$

где $n_{\text{ПРЕС}}$ – число контуров в преселекторе, включая два контура входной цепи;

η – параметр связи между контурами входной цепи.

При обеспечении согласования по мощности входной цепи с антенно-фидерной системой ($a = 1$) параметр связи следует брать меньше единицы. Для обеспечения максимального коэффициента передачи по мощности необходимо выбрать параметр связи близким к единице ($\eta = 0.8 \dots 0.9$).

Для обеспечения высокой избирательности преселектора за счет сужения полосы пропускания двухконтурной входной цепи необходимо выбрать малую величину коэффициента связи между контурами ($\eta = 0.4 \dots 0.6$). Однако при этом необходим учет потери чувствительности радиоприемного устройства.

При одноконтурной входной цепи и одном из контуров УРЧ с двухконтурной нагрузкой минимальная промежуточная частота определяется выражением

$$f_{\text{ПЧ.min}} > \frac{f_{0\text{max}}}{4Q_{\text{Э.ВЧ}}} \cdot n_{\text{ПРЕС}} \sqrt{2 \cdot (1 + a^2) \cdot \sigma_{\text{ЗЕРК}}} . \quad (3.34)$$

После расчета промежуточной частоты, исходя из заданной избирательности по соседнему и зеркальному каналам приема, производят выбор значения промежуточной частоты, удовлетворяющей условиям (3.28) и (3.30).

Несмотря на большой выбор избирательных цепей в преселекторе на практике способ усложнения схем избирательных цепей в преселекторе для обеспечения избирательности по зеркальному каналу используется крайне редко. Наибольшее распространение получило двойное или многократное преобразование частоты.

Значение 1-й промежуточной частоты определяется выражением при использовании одиночных контуров в преселекторе

$$f_{\text{ПЧ}} < f_{0\text{min}} - \frac{f_{0\text{min}}}{2Q_{\text{Э.ВЧ}}} \cdot n_{\text{ПРЕС}} \sqrt{(1 + a^2) \cdot \sigma_{\text{ЗЕРК}}} . \quad (3.35)$$

Чтобы форма АЧХ преселектора не искажала амплитудно-

частотную характеристику радиоприемного устройства необходимо провести проверку условия (3.29). После расчета значения первой промежуточной частоты (3.34) и промежуточной частоты (3.30) производится окончательный выбор значения первой промежуточной частоты. Значение второй промежуточной частоты определяется выражением (3.28).

Расчет коэффициента передачи элементов и узлов радиоприемного. Общий коэффициент передачи радиоприемного устройства определяется выражением

$$K = \frac{U_{\text{мвх. дет.}}}{\sqrt{2} E_A} \cdot K_3, \quad (3.36)$$

где $U_{\text{мвх. дет.}}$ – необходимое значение амплитуды напряжения сигнала на входе детектора;

E_A – э.д.с. в антенне, равная реальной чувствительности радиоприемника;

K_3 – коэффициент запаса усиления, необходимый на случай разброса рабочих характеристик базовых усилительных элементов (5...10 раз).

Значения амплитуды напряжения на входе детектора определяется линейностью детекторной характеристики и минимальным значением соответствующего реальной чувствительности при заданном отношении сигнал/шум. Выражение (3.36) справедливо также и для приемников прямого усиления. Для расчета коэффициента усиления супергетеродинного радиоприемника необходимо определить величину коэффициента передачи преселектора, смесителя и усилителя промежуточной частоты.

Коэффициент усиления преселектора определяется из условий максимально допустимого напряжения сигнала на входе смесителя и максимального уровня сигнала на входе радиоприемника. Максимальный уровень сигнала на входе радиоприемника определяется значением динамического диапазона его изменения. Допустимые напряжения на входе смесителя определяются условием его линейности коэффициента передачи. Ориентировочные значения коэффициента передачи и максимальная величина напряжения сигнала на входе смесителя представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.10 – Тип и ориентировочные параметры детекторов

Тип радиоприемного устройства	Приемник звукового вещания	Приемник телевизионного вещания		Приемник связной	Радио-локационный приемник	Панорамный радиоприемник
Тип детектора	Биполярный транзистор	Полупроводниковый диод	Биполярный транзистор	Биполярный транзистор	Полупроводниковый диод	Биполярный транзистор
$U_{m\text{ вх. дет.}}$, мВ	2...5	300...600	5...10	2...5	500...700	5...10
Динамический диапазон на выходе детектора, дБ	25...30	30...40		30	50...60	

Таблица 3.11 – Ориентировочные параметры смесителя преобразователя частоты радиоприемника супергетеродинного типа

Тип нелинейного элемента, схема построения смесите- ля	Электровacuумный триод	Полупроводниковый диод	Биполярный транзистор	Полевой транзистор	Балансные и кольцевые смесители на полупровод- никовых диодах	Смесители на биполярных транзисторах на основе дифференциального каска- да	Смесители на полевых транзисторах на основе дифференциального каска- да
К _{СМ} , дБ	6	−6	0...−6	0...−6	−6...0	6...12	3...6
U _{ВХ. макс.СМ.} , мВ	5...10			100...200		10...20	200...400

Напряжение сигнала на входе смесителя, соответствующее реальной чувствительности, определяется из условия динамического диапазона входного воздействия на радиоприемное устройство [1].

При построении супергетеродинного радиоприемного устройства с многократным преобразованием частоты также следует учитывать вышеупомянутые ограничения и условия, принятые по отношению к смесителям преобразователей частоты.

В качестве примера расчета коэффициента передачи основ-

ных узлов радиоприемного устройства звукового вещания супергетеродинного типа с плавной настройкой по диапазону (рис. 3.2). На первом этапе обоснование и расчет типа и количества избирательных цепей производится по методике, изложенной выше.

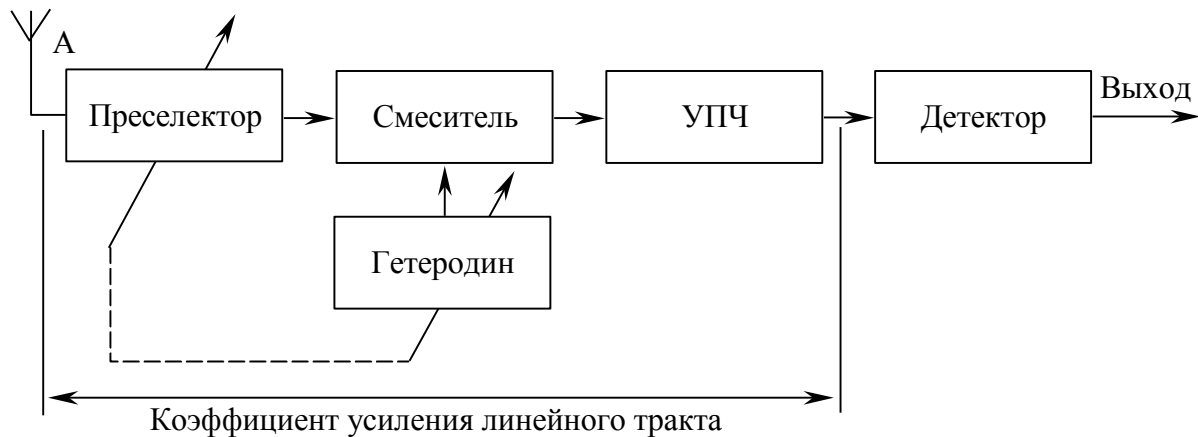


Рис. 3.2 – Структурная схема супергетеродинного радиоприемника

Структурная схема преселектора, рассчитанная по критерию избирательности по дополнительным каналам приема и для обеспечения необходимой чувствительности радиоприемного устройства представлена на рисунке (рис. 3.2). Избирательные цепи преселектора выполнены на основе одиночного колебательного контура (входная цепь, нагрузка усилителя радиочастоты) и базового усилительного элемента (БУЭ 1).

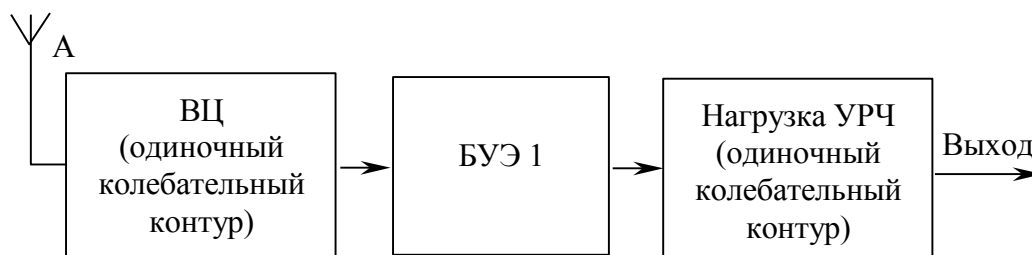


Рис. 3.3 – Структурная схема преселектора радиоприемного устройства

Структурная схема усилителя промежуточной частоты по критерию избирательности по соседнему каналу изображена на рисунке (рис. 3.3) и имеет в своем составе усилительных каскада, нагруженных на два связанных контура, настроенных на одну

частоту при критической расстройке. Для унификации узлов усилителя промежуточной частоты на практике используют идентичные базовые усилительные элементы (БУЭ 2) и резонансные системы.

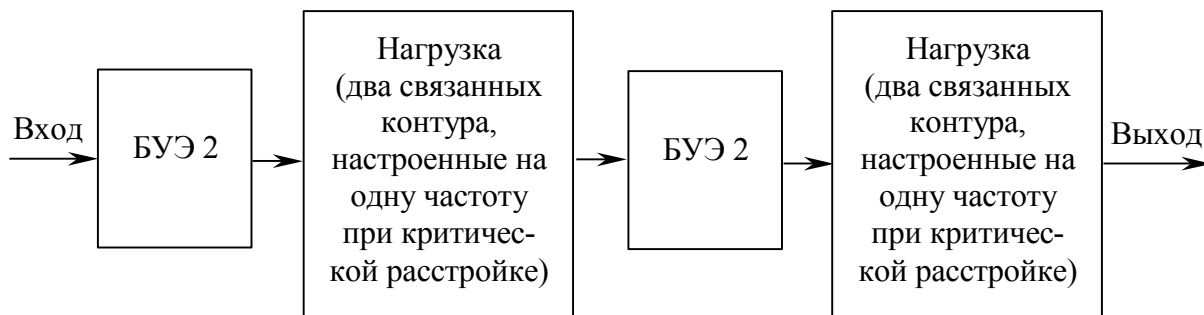


Рис. 3.4 – Структурная схема усилителя промежуточной частоты супергетеродинного радиоприемника

Методика расчета коэффициента усиления узлов и элементов радиоприемного устройства.

Исходные данные для расчета.

Схема построения радиоприемного устройства	Супергетеродинная
Диапазон рабочих частот	0,5...1,5 МГц
Промежуточная частота	465 кГц
Тип настройки гетеродина	$f_{\text{гет.}} > f_c$
Тип модуляции	АМ
Частота модуляции	100...3000 Гц

Порядок расчета.

1. Определение недостающих данных [1]

Динамический диапазон по входу	60 дБ
Отношение сигнал/шум на входе приемника	20 дБ
Динамический диапазон на входе детектора	30 дБ
Отношение сигнал/шум на входе детектора	15 дБ

2. Расчет реальной чувствительности

Полоса пропускания радиоприемного устройства определяется выражением (3.1)

$$\dot{I} = \Delta F_{\tilde{N}\tilde{I}} + 2\Delta F_{\tilde{A}} + \dot{I}_{\tilde{I}\tilde{N}} = 6.404 \cdot 10^3 \text{ кГц},$$

где $\Delta F_{\tilde{N}\tilde{I}} = 2 \cdot F_{\tilde{A}} = 6000 \text{ Гц}$;

$$\Delta F_{\tilde{A}} = 0;$$

$$\dot{I}_{\tilde{I}\tilde{N}} = \sqrt{(\delta_{\tilde{N}} \cdot f_{\tilde{N}})^2 + (\delta_{\tilde{A}} \cdot f_{\tilde{A}})^2 + (\delta_{\tilde{I}\times} \cdot f_{\tilde{I}\times})^2 + (\delta_{\tilde{I}} \cdot f_{\tilde{N}})^2} = 403.865 \text{ Гц};$$

$\delta_{\tilde{N}} = 10^{-6}$ – нестабильность частоты источника сигнала;

$f_{\tilde{N}} = f_{\max} = 1.5 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ – частота сигнала;

$\delta_{\tilde{A}} = 10^{-4}$ – нестабильность частоты гетеродина;

$f_{\tilde{A}} = f_{\max} + f_{\tilde{I}\times} = 1.5 \cdot 10^6 + 0.465 \cdot 10^6 = 1.965 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ – частота гетеродина;

$\delta_{\tilde{I}\times} = 10^{-4}$ – нестабильность частоты настройки УПЧ;

$f_{\tilde{I}\times} = 0.465 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ – частота настройки усилителя промежуточной частоты;

$\delta_{\tilde{I}} = 0$ – нестабильность частоты настройки радиоприемника (при плавной настройке данная нестабильность равна нулю).

Шумовая полоса пропускания радиоприемного устройства:

$$\dot{I}_{\emptyset} = 1.1 \cdot \dot{I} = 7.044 \cdot 10^3 \text{ Гц}.$$

Реальная чувствительность для радиоприемного устройства с ненастроенной антенны определяется выражением (3.19)

$$E_{\tilde{A}} = \gamma_{\hat{A}\hat{U}\hat{O}} \sqrt{E_{\tilde{N}}^2 + h_{\tilde{A}}^2 \dot{I}_{\emptyset} + 4kT_{\tilde{A}} \dot{I}_{\emptyset} \left[N \cdot \rho \cdot \left(\frac{m \cdot d_0}{K_0 \cdot d_{\tilde{Y}}} \right)^2 + R_A \right]} = 26.54 \text{ мкВ},$$

где $\gamma_{\hat{A}\hat{U}\hat{O}} = 10$ – отношение сигнал/шум на выходе линейного

тракта радиоприемного устройства АМ – сигналов;

$E_{\text{III}} = 1$ мкВ – напряженность поля внешних помех, наводимой возле антенны [1] (рис. 1.7);

$m = 0,25$ – коэффициент включения каскада усилителя радиочастоты на биполярном транзисторе к контуру входной цепи;

$d_0 = 0.01$ – собственное затухание контура входной цепи;

$d_{\dot{Y}} = \frac{3 \cdot \ddot{I}}{f_{\min}} = 0.038$ – собственное и эквивалентное затухание контура входной цепи,

$\rho = 2\pi f_{\max} L_K$ – волновое сопротивление контура входной цепи на максимальной частоте рабочего диапазона;

$K_0 = 1$ – коэффициент передачи входной цепи и УРЧ на биполярном транзисторе;

$N = 10$ – коэффициент шума радиоприемного устройства (для рассматриваемого случая коэффициент шума существенного влияния не оказывает);

$R_A = 80$ Ом – активная составляющая комплексного сопротивления антенны [1] (рис. 4.3,а);

$h_d = 1$ м – действующая высота антенны (принята для упрощения расчета).

$T_A = 2000$ – температура антенны [1] (рис. 1.9).

3. Расчет общего коэффициента усиления радиоприемного устройства

Общий коэффициент усиления радиоприемного устройства определяется выражением (3.36).

$$K = \frac{U_{\text{мд.д.}}}{\sqrt{2} E_A} \cdot K_{\text{с}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2} \cdot 26.54 \cdot 10^{-6}} \cdot 5 = 666.$$

$$K[\text{дБ}] = 20 \cdot \lg K = 56.5 \text{ дБ.}$$

где $U_{\text{мд.д.}} = 5$ мВ – напряжение сигнала на входе детектора (таблица 3.30);

$E_{\text{А}} = 26.54 \text{ мкВ}$ – э.д.с. наводимой в антенне при $\gamma_{\text{АУО}} = 10$;
 $K_{\text{С}} = 5$ – коэффициент запаса по усилению.

4. Расчет коэффициента усиления преселектора и базового усилительного элемента усилителя радиочастоты

Коэффициент усиления преселектора определяется выражением

$$K_{\text{пр.}} \leq \frac{U_{\text{ш}}}{\sqrt{2} \cdot E_{\text{с}}} = \frac{10^{-5}}{\sqrt{2} \cdot 2.654 \cdot 10^{-6}} = 2.664.$$

$$K_{\text{пр.}} [\text{дБ}] \leq 20 \cdot \lg K_{\text{пр.}} = 8.51 \text{ дБ},$$

где $U_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{макс}}}{DD} = \frac{0.01}{1000} = 10^{-5} \text{ В}$ – напряжение шумов на входе смесителя преобразователя частоты;

$U_{\text{макс}} = 0.01 \text{ В}$ – максимальное напряжение на входе смесителя (таблица 3.11);

$DD = 1000$ – динамический диапазон изменения амплитуды сигнала на входе радиовещательного приемного устройства [1].

Коэффициент усиления базового усилительного элемента определяется типом и количеством избирательных систем в преселекторе и связан с коэффициентом усиления всего УПЧ выражением [1]

$$K_{\text{б.}} = \frac{K_{\text{АА}}^m}{\Phi(n)}, \quad (3.37)$$

где $K_{\text{АА}}^n$ – коэффициент усиления одного усилительного каскада (базового усилительного элемента);

$\Phi(n)$ – функция коэффициента усиления, связанная с видом и количеством избирательных систем (таблица 3.7);

m – число усилительных каскадов;

n – количество избирательных систем.

Коэффициент усиления одного каскада УПЧ из (3.37) равен

$$K_{\text{АОУ1}} = \sqrt[n]{K_{\text{БАН}} \cdot \Phi_{\text{БАН}}(n)} = 2.664 \cdot 2.41 = 6.42.$$

$$K_{\text{АОУ1}}[\text{дБ}] = 20 \cdot \lg 6.42 = 16.151 \text{ дБ},$$

где $n = 2$ – число избирательных систем в преселекторе (ВЦ+УРЧ);

$m = 1$ – число каскадов усиления в преселекторе (УРЧ).

5. Оценка коэффициента преобразования смесителя преобразователя частоты

В качестве смесителя используем смеситель на биполярных транзисторах на основе дифференциального каскада, коэффициент передачи которого равен $K_{\text{СМ}} = 12$ дБ (таблица 3.11).

6. Расчет коэффициента усиления усилителя промежуточной частоты и базового усилительного элемента УПЧ

Коэффициент усиления УПЧ радиоприемного устройства определяется выражением

$$K_{\text{ОУ}}[\text{дБ}] = K[\text{дБ}] - K_{\text{БАН}}[\text{дБ}] - K_{\text{НЧ}}[\text{дБ}] = 56.5 - 8.5 - 12 = 36 \text{ дБ}.$$

Коэффициент усиления базового усилительного элемента УПЧ (рис. 3.4):

$$K_{\text{АОУ}} = \sqrt[2]{10^{\frac{K_{\text{ОУ}}[\text{дБ}]}{20}} \cdot \Phi(2)} = \sqrt[2]{62.8 \cdot 3.11} = 13.97.$$

$$K_{\text{АОУ}}[\text{дБ}] = 20 \cdot \lg 13.97 = 22.91 \text{ дБ}.$$

При выборе электрических принципиальных схем отдельных узлов радиоприемного устройства следует отметить, что при расчете усилителя радиочастоты возможно уменьшение его коэффициента усиления с его компенсацией в усилителе промежу-

точной частоты. На чувствительность радиоприемника в диапазоне средних волн это обстоятельство не повлияет, т.к. в этом диапазоне она определяется только внешними шумами.

3.4.3 Задания к контрольной работе №3

В контрольной работе №3 предлагается рассчитать структурную схему радиоприемного устройства по критерию избирательности и усиления. Тип и назначение радиоприемного устройства выбирается по данным таблицы 3.1 и из данных таблиц 3.2 – 3.6. В таблицах 3.9 – 3.13 представлены требования по избирательности к радиоприемным устройствам.

Таблица 3.12 – Избирательность радиоприемных устройств

№ вар.	$\sigma_{\text{сос.}}$, дБ	$\Delta f_{\text{сос.}}$, МГц	$\sigma_{\text{зерк.}}$, дБ	$\sigma_{\text{пр.}}$, дБ	№ вар.	$\sigma_{\text{сос.}}$, дБ	$\Delta f_{\text{сос.}}$, МГц	$\sigma_{\text{зерк.}}$, дБ	$\sigma_{\text{пр.}}$, дБ
1	40	0,01	20	20	46	60	0,01	40	20
2	20	7,5	40	40	47	20	7,5	20	40
3	40	0,01	60	60	48	60	0,1	40	60
4	60	$1,2 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	20	49	40	$1,6 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	20
5	40	0,01	20	20	50	60	0,01	40	20
6	60	0,01	40	40	51	40	0,01	20	40
7	40	7,5	20	60	52	40	7,5	40	60
8	40	0,01	40	20	53	40	0,2	20	20
9	60	$1,3 \Delta f_{\text{сп.}}$	20	20	54	60	$1,2 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	60
10	60	0,01	40	40	55	40	0,01	20	40
11	40	0,01	20	60	56	60	0,01	40	60
12	60	7,5	40	20	57	60	7,5	20	20
13	40	0,01	60	40	58	60	0,2	40	40
14	20	$1,4 \Delta f_{\text{сп.}}$	40	60	59	20	$1,3 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	60
15	40	0,01	20	60	60	60	0,01	40	60
16	60	0,01	40	20	61	40	0,01	20	20
17	20	7,5	20	40	62	20	7,5	40	40
18	60	0,015	40	60	63	40	10	20	60
19	40	$1,5 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	20	64	60	$1,4 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	60
20	60	0,01	40	20	65	60	$1,4 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	60
21	40	0,01	20	40	66	60	0,01	40	40
22	40	7,5	40	60	67	40	7,5	20	60
23	40	0,25	60	20	68	60	10	-	20
24	60	$1,6 \Delta f_{\text{сп.}}$	20	40	69	40	$1,5 \Delta f_{\text{сп.}}$	-	60
25	40	0,01	20	40	70	60	0,01	40	40
26	60	0,01	40	60	71	40	0,01	20	60
27	60	7,5	20	20	72	60	7,5	40	20

Окончание табл. 3.12

№ вар.	$\sigma_{\text{сос.}}$ дБ	$\Delta f_{\text{сос.}}$ МГц	$\sigma_{\text{зерк.}}$ дБ	$\sigma_{\text{пр.}}$ дБ	№ вар.	$\sigma_{\text{сос.}}$ дБ	$\Delta f_{\text{сос.}}$ МГц	$\sigma_{\text{зерк.}}$ дБ	$\sigma_{\text{пр.}}$ дБ
28	60	0,2	40	40	73	40	50	-	40
29	20	$1,2 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	60	74	20	$1,62 \Delta f_{\text{сп.}}$	-	60
30	60	0,01	40	60	75	40	0,01	20	60
31	40	0,01	20	20	76	60	0,01	40	20
32	20	7,5	40	40	77	20	7,5	20	40
33	40	0,25	60	60	78	60	50	-	60
34	60	$1,3 \Delta f_{\text{сп.}}$	20	20	79	60	$1,2 \Delta f_{\text{сп.}}$	-	60
35	40	0,01	20	20	80	60	0,01	40	20
36	60	0,01	40	40	81	40	0,01	20	40
37	40	7,5	20	60	82	40	7,5	40	60
38	60	0,25	40	20	83	40	50	-	20
39	40	$1,4 \Delta f_{\text{сп.}}$	60	40	84	20	$1,3 \Delta f_{\text{сп.}}$	-	40
40	60	0,01	40	40	85	40	0,01	20	40
41	40	0,01	20	60	86	60	0,01	40	60
42	60	7,5	40	20	87	60	7,5	20	20
43	40	0,5	60	40	88	60	50	-	40
44	20	$1,5 \Delta f_{\text{сп.}}$	20	60	89	40	$1,6 \Delta f_{\text{сп.}}$	-	20
45	40	0,01	20	60	90	60	0,01	40	60

3.4.4 Краткие методические рекомендации по выполнению контрольной работы

В контрольной работе № 3, прежде чем приступить к расчету структурной схемы, необходимо представить *общую характеристику, назначение, область применения и особенности построения* радиоприемного устройства. Далее производится расчет его структурной схемы по критерию избирательности по следующему алгоритму.

1. Расчет полосы пропускания с учетом возможной нестационарности.
2. Расчет коэффициента прямоугольности избирательных систем радиоприемного устройства.
3. Выбор типа и количество избирательных систем, обеспечивающих заданные требования избирательности по соседнему каналу.
4. Оценка физической реализуемости избирательных цепей радиоприемника, построенного по схеме прямого усиления.

5. При невозможности реализации радиоприемника прямого усиления производят выбор промежуточной частоты по критерию избирательности, по соседнему и дополнительному каналам приема в соответствии с методикой, представленной в разделе 3.3.2 настоящего учебно-методического пособия.

После расчета структурной схемы необходимо представить полную структурную схему устройства приема и обработки сигналов с описанием принципа его работы и анализом мер, обеспечивающих заданные технические параметры. На структурной схеме должны быть указаны все параметры отдельных узлов радиоприемника, включающие уровни входных напряжений и коэффициенты усиления по напряжению или по мощности.

4 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

При оформлении текстовых контрольных работ титульный лист оформляется в соответствии с требованием приложения 1.

При изложении пояснительной записки необходимо приводить обоснование принятых решений, имеющих подробное описание. При использовании литературных источников необходимо указывать ссылку, а отчет должен иметь раздел с перечнем используемой литературы.

Все приводимые аналитические выражения должны иметь нумерацию, а переменные должны быть подробно описаны. Все численные значения необходимо подставлять в формулы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пушкарев В.П. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие. – Томск: ТМЦДО, 2005. – 200 с.
2. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств / М.К. Белкин, В.Т. Белинский, Ю.А. Мазор, Р.М. Терещук. – 2-е изд. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 472 с.
3. Проектирование радиоприемных устройств: Учебное пособие для вузов / Под ред. А.П. Сиверса. – М.: «Советское радио», 1976. – 488 с.
4. Радиоприемные устройства: Учеб. для вузов / Под ред. В.И. Сифорова. – М.: Сов. Радио, 1974. – 560 с.
5. Бобров Н.В. и др. Расчет радиоприемников. – М.: Воениздат, 1971. – 496 с.
6. Кононович Л.М. Стереофоническое радиовещание. – М.: Связь, 1974. – с. 264.
7. Мартынов В.А., Селихов Ю.И. Панорамные приемники и анализаторы спектра / Под ред. Г.Д. Заварина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Советское радио, 1980. – 352 с.
8. Горшелев В.Д. и др. Основы проектирования радиоприемников. – Л.: Энергия, 1977.
9. Палшков В.В. Радиоприемные устройства. М., изд-во Связь, 1965, 543 с.
10. Пушкарев В.П., Пелявин Д.Ю. Радиоавтоматика. – Томск, 2004. – 153 с.
11. Школин Ю.Д. Основы проектирования радиоприемников. (Расчет структурных схем). – ВАС, 1976, 178 с.