

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РФ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**Кафедра авиационных радиоэлектронных систем ВС
Э.А. Лутин**

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВС

ПОСОБИЕ

**к изучению дисциплины, контрольные задания
и задания на курсовой проект**

*для студентов V курса
специальности 201300
дневного и заочного обучения*

Москва - 2002

ББК 0571.55

Л 86

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Емельянов В.Е.

Лукин Э.А.

Л86 Радиолокационные системы ВС: Пособие к изучению дисциплины, контрольные задания и задания на курсовой проект.– М.: МГТУ ГА, 2002.- 48 с.

Данное пособие издается в соответствии с учебной программой для студентов V курса специальности 201300 дневного и заочного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 15.05.02 г. и методического совета 24.05.02 г.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Среди радиотехнических систем обеспечения полетов особое место занимают радиолокационные системы (РЛС) воздушных судов (ВС), поскольку они являются основным источником оперативной информации о метеорологической обстановке при полете по маршруту, средством предупреждения столкновений с препятствиями, автономным средством получения навигационной информации в полете, а также (в комплексе с наземными вторичными радиолокаторами) обеспечивают получение необходимой для УВД оперативной информации о местоположении ВС в любой момент времени независимо от метеорологических условий. Радиолокационные системы предупреждения столкновений обеспечивают так же безопасность полетов на участках полета с высокой плотностью движения самолетов.

Постоянное совершенствование бортовых радиолокационных систем, широкое внедрение новой элементной базы, цифровой обработки сигналов, микропроцессоров и микро-ЭВМ, расширение на этой основе функциональных возможностей РЛС, повышение эффективности и качества их эксплуатации призваны повысить безопасность и регулярность полетов ВС.

В связи с этим изучение дисциплины «РЛС ВС» и разработка курсового проекта является непременным условием профессиональной подготовки инженеров гражданской авиации, специализирующихся в области технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования ВС.

Современные бортовые радиолокационные системы включают в себя большое количество подсистем более низкого порядка. Поэтому курсовому проектированию должно предшествовать усвоение следующих специальных дисциплин:

- теоретические основы радиолокации;
- радиопередающие устройства;
- устройства приёма и цифровой обработки сигналов;
- антенно-фидерные устройства СВЧ;
- импульсные и цифровые устройства;
- радиоавтоматика;
- вычислительная техника.

II. ЛИТЕРАТУРА, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

1. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. М.: Радио и связь. 1986, 288 с.
2. Лёзин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М.: Радио и связь, 1986, 280с.
3. Радиолокационные системы воздушных судов / Под ред. П.С. Давыдова. М.: Транспорт, 1988, 360 с.
4. Кузнецов А.А., Козлов А.И., Криницин В.В. и др. Радиолокационное оборудование автоматизированных систем УВД. М.: Транспорт, 1985, 344 с.
5. Бартон Д., Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. - М.: Сов.радио, 1976, 392 с.
6. Финкельштейн У.И. Основы радиолокации. М.: Радио к связь, 1983, 482 с.
7. Приданов В.Г. Самолетная метеонавигационная РЛС «Гроза». Рига: РКИИГА, 1975, 174 с.
8. Макурин М.И., Власов О.П., Матвейчук Н.П. Современные радиолокационные устройства ВС («Градиент»). Рига: РКИИГА. 1981, 85 с.
9. Яновский Ф.И. Бортовые метеонавигационные радиолокаторы. Киев: КИИГА, 1982, 80с.
10. Авиационная радиолокация: Справочник / Под ред. П.С.Давыдова. М.: Транспорт, 1984, 223 с.
11. Инструкция по эксплуатации метеонавигационного радиолокатора «Гроза».
12. Техническое описание СО-70.
13. Техническое описание СО-72М.
14. Проектирование радиолокационных устройств / Под ред. М.А. Соколова. М.: Высшая школа, 1984, 335с.
15. Кузьмин С.В. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь.1986, 352 с.
16. Алексеенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. М.: Радио и связь, 1986, 414 с.
17. Проектирование импульсных и цифровых устройств радиотехнических систем /Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Высшая школа, 1985, 320 с.
18. Цифровые фильтры и устройства обработки сигналов на интегральных микросхемах / Под ред. Б.Ф. Высоцкого. М.: Радио и связь, 1984, 316 с.
19. Радиопередающие устройства / Под ред. М.В. Благовещенского, Г.М. Уткина. М.: Радио и связь, 1982, 416 с.
20. Каганов В.И. СВЧ полупроводниковые передатчики. М.: Радио и связь. 1981, 284 с.
21. Проектирование радиопередающих устройств / Под ред. В.В.Шахгильдена. М.: Радио и связь, 1981, 284 с.
22. Справочник по ИМС / Под ред. В.В. Тарабарина. М.: Энергия, 1986, 613с.

23. Стандарт СЭВ 1823-79. Системы вторичной радиолокации для УВД. Состав, типы оборудования и общие технические требования. Ввод. 1.01.1982 (ГОСТ 21800-78). М.: Изд-во стандартов. 1976, 14 с.
24. Бычков С.И., Пахолков Г.А., Яковлев В.Н. Радиотехнические системы предупреждения столкновений самолетов. М.: Сов.радио, 1977, 272 с.
25. Раков В.А. Индикаторные устройства РЛС. Л.: Судостроение, 1977, 184 с.
26. Нормы летной годности самолетов НЛГС-3. М.: МГА, 1985.
27. Бабаев В.Г. Основы цифровой схемотехники. Ч.1. М.: МИИГА, 1990, 68 с.
28. Бабаев В.Г. Основы цифровой схемотехники. Ч.II. М.: МИИГА, 1991, 60 с.
29. Криницин В.В., Сафоненков Ю.П. Методические указания и задание к курсовому проектированию по дисциплине "Устройства приема и цифровой обработки сигналов". М.: МИИГА, 1987, 88 с.
30. Международные стандарты и рекомендации. Авиационная электросвязь. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т.1, ч.1. Аппаратура и системы. IV издание. ИКАО, апрель 1985.
31. Перевезенцев Л.Т., Зеленков А.В., Огарков В.Н. Радиолокационные системы аэропортов. М.: Транспорт, 1981.
32. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / Под ред. В.В.Григоряна-Рябова. М.: Сов.радио, 1970.
33. Бабаев Б.Г., Емельянов В.Е. Основы теории надежности МУ и КЗ по дисциплине «Техническая эксплуатация и надежность РЭО». Ч.1. М.: МИИГА, 1992.

Ш. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Целью лабораторных занятий является углубление и конкретизация знаний по отдельным видам радиолокационного оборудования ВС, исследование схемотехнических решений и конструкций блоков и узлов метеонавигационных радиолокаторов и самолетных ответчиков, особенностей их функционирования в различных режимах работы, освоение методики проверки работоспособности оборудования и контроля основных его параметров. Студенты, приступающие к изучению дисциплины и выполнению лабораторных работ, в обязательном порядке должны уметь обращаться с контрольно-измерительной аппаратурой, знать правила её настройки и регулировки, уметь свободно читать принципиальные схемы, владеть навыками работы с современными вычислительными средствами. В процессе обучения студентам необходимо выполнить цикл лабораторных работ, перечень которых приводится ниже.

1. Изучение принципов построения штатной радиолокационной контрольно- измерительной аппаратуры.
2. Изучение принципов построения бортовой метеонавигационной РЛС «Гроза».
3. Изучение функциональной схемы метеонавигационного радиолокатора «Гроза-86»
4. Изучение принципов построения радиопередающего устройства РЛС «Гроза».
5. Исследование приемного устройства радиолокационной станции «Гроза».
6. Изучение принципов построения системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) радиолокационной станции «Гроза».
7. Исследование трехтонового видеоусилителя радиолокационной станции «Гроза».
8. Исследование тракта формирования развертки бортовой РЛС «Гроза».
9. Изучение принципов построения штатной КИА для СО.
10. Изучение принципа действия и функциональной схемы самолетного ответчика.
11. Исследование защитных устройств самолетного ответчика.
12. Изучение функциональной схемы РЛС «Контур».

IV. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Общие сведения о РЛС ВС

Предмет и содержание учебной дисциплины. Ее роль в подготовке инженера по эксплуатации АРЭО. Взаимосвязь с другими учебными дисциплинами. Развитие гражданской авиации и систем УВД. Роль и место радиолокационных систем среди других систем управления полетами в ГА, в обеспечении регулярности и безопасности полетов. Краткие исторические сведения о развитии бортового радиолокационного оборудования. Классификация бортового радиолокационного оборудования по назначению и по другим признакам.

Литература: (3), (4), (5), (6), (9).

Приступая к изучению дисциплины «РЛС ВС», необходимо усвоить материал предыдущих курсов, четко уяснить цели и задачи дисциплины и ее взаимосвязи с другими дисциплинами, указанными в разделе «Общие методические указания». РЛС ВС являются одним из важнейших классов бортовых радиолокационных систем, формирующих информационное обеспечение пилотажно-навигационного комплекса. Высокая эффективность, автономность, информативность и надежность делают РЛС ВС незаменимыми для обеспечения безопасности воздушного движения.

Первые работы по созданию РЛС были начаты в СССР в 1933 г., а первые самолетные РЛС «Гнейс-2» появились в период Великой Отечественной войны.

Необходимо подчеркнуть, что радиолокационные системы продолжают развиваться в настоящее время особенно быстрыми темпами на основе последних достижений микроэлектроники, теории информации, кибернетики, электроники СВЧ и техники цифровой обработки сигналов. В свою очередь, радиолокационные системы способствуют развитию фундаментальных наук. Большой вклад в теорию и технику радиолокации на всех этапах ее развития вносили и вносят отечественные ученые.

Классификация РЛС ВС может проводиться по различным признакам: по принципу взаимодействия с целью, по характеру излучаемых сигналов и др. В частности, по назначению РЛС ВС делятся на РЛС обзора земли, РЛС предупреждения столкновений, метеорологические РЛС, метеонавигационные РЛС, РЛС бокового обзора, радиолокационные самолетные ответчики, радиовысотомеры, доплеровские измерители путевой скорости и угла сноса самолета (ДИССы), системы предупреждения столкновений.

Примечание. Радиовысотомеры и ДИССы изучаются в курсе «Радионавигационные системы ВС».

Вопросы для самопроверки

1. На какие достижения естественных наук опирается теория и техника радиолокации? Каким образом радиолокационная техника способствует развитию фундаментальной науки?
2. Проследите историю развития радиолокации. Каким образом радиолокация связана с авиацией?
3. Назовите имена отечественных ученых, внесших вклад в развитие радиолокационной техники. В чем конкретно состоит этот вклад?
4. В чем состоят основные тенденции развития радиолокации в настоящее время?
5. Предложите не менее восьми признаков, по которым можно производить классификацию радиолокационных систем.

4.2. Особенности работы бортовых радиолокаторов при решении различных тактических задач

Задачи, решаемые с помощью бортовых РЛС: обзор земной поверхности с целью навигационной ориентации, определение угла сноса и путевой скорости самолета, обнаружение метеообразований и выявление в них мест, наиболее опасных для самолетовождения. Методы решения этих задач. Особенности работы РЛС при решении конкретных тактических задач: зона обзора, форма диаграммы направленности антенны, форма амплитудной характеристики приемного устройства, наличие и отсутствие ВАРУ.

Литература: (3), (5), (14), (16), (17).

Работу над данным разделом курса целесообразно начинать с изучения принципов получения навигационной информации с помощью бортовой РЛС. В частности, рассмотреть особенности навигационного обзора земной поверхности, принципы навигации по наземным радиолокационным маякам-ответчикам (РЛМО), определение угла сноса самолета с помощью вторичного эффекта Доплера, использование бортовой РЛС для предотвращения столкновений ВС с препятствиями (метод «круга безопасности»), определение путевой скорости самолета.

Затем следует проработать принципы получения метеорологической информации с помощью бортовой РЛС. Для этого, прежде всего, необходимо вспомнить особенности радиолокации метеообъектов как объемно-распределенных целей, понимать, как влияют метеорологические условия на безопасность полетов и какие именно источники опасности (турбулентность, молния, град и т.п.) связаны с кучево-дождевыми облаками, хорошо обнаруживаемыми с помощью бортовой РЛС. Задачу локализации опасных для полетов метеообъектов необходимо рассматривать как статистическую задачу,

когда по результатам измерений некоторого набора информативных параметров радиолокационных сигналов необходимо принять решение об отнесении отражающего метеообъекта к классу опасных и неопасных.

Очень важно разобраться, каковы характеристики радиолокационных отражений и почему целесообразно их использовать в качестве информативных параметров при локализации зон опасных метеоявлений. Наиболее часто используют характеристики средней мощности отраженного сигнала, которая пропорциональна радиолокационной отражаемости (РО) метеообъекта.

После этого следует рассмотреть примеры практической реализации методов получения и индикации метеорологической информации в бортовых РЛС. Необходимо уяснить сущность метода «изо-эхо», реализуемого, например, в режиме «Контур» РЛС «Гроза», методов многоконтурной индикации, индикации опасных направлений (режим «Метео» РЛС «Гроза М»).

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоят основные функции метеонавигационной РЛС, каковы тенденции изменения этих функций?
2. Что такое атмосферная турбулентность и чем она опасна для ВС?
3. Предложите пути использования эффекта Доплера для получения навигационной и метеорологической информации в бортовой РЛС.
4. Можно ли полностью исключить ошибки при локализации зон опасных метеорологических явлений? Обоснуйте ответ.
5. Каковы требования к форме и ширине диаграммы направленности антенны при навигационном обзоре земной поверхности, при локализации опасных метеообъектов по РО?
6. По какому показателю можно судить о степени опасности метеообразований?

4.3. Обобщенная структурная схема бортового радиолокатора.

Основные характеристики

Радиолокационная станция как система. Общий подход к выбору эксплуатационных и технических характеристик. Обобщенная структурная схема бортовой РЛС с внутренней и внешней синхронизацией. Основные каналы структурной схемы. Временные диаграммы напряжений (токов), поясняющие физические процессы. Структура цифровой РЛС.

Требования к основным характеристикам бортовых радиолокаторов. Особенности обоснования и расчета эксплуатационно-технических характеристик многофункциональных РЛС.

Литература: (3), (6), (11), (13), (14), (15), (16).

При изучении данного раздела целесообразно рассматривать особенности структуры бортовых РЛС в процессе их эволюции от первых ламповых радиолокаторов, имеющих 7-8 основных блоков, до современных РЛС, выполненных, главным образом, на интегральных микросхемах, имеющих 2-4 основных блока. Кроме того, следует учесть тенденцию все более широкого применения цифровой техники в бортовых РЛС, что существенно отражается на структуре радиолокаторов. Если в первом отечественном бортовом метеорологическом радиолокаторе, использующем цифровую обработку сигналов, собственно цифровые устройства используются только в индикаторе, то в новых РЛС практически все связи между блоками будут осуществляться только в цифровой форме с помощью стандартных интерфейсов.

При обосновании и расчете эксплуатационно-технических характеристик бортовых РЛС недостаточно рассматривать отдельные частные стороны задачи. Системный подход к разработке предполагает охват задачи в целом, с различных точек зрения. Принципиальным отличием системного подхода от традиционных подходов к синтезу систем является также итерационный характер решения задач проектирования, главным образом, реализуемый с помощью ЭВМ. Необходимо не просто ознакомиться с требованиями и рекомендациями документов, регламентирующих параметры метеонавигационных радиолокаторов (МНРЛС), а проанализировать и понять причины тех или иных ограничений. Сначала следует уяснить особенности выбора эксплуатационных (тактических) характеристик системы, а затем изучить методику обоснования и расчета технических характеристик. Важно научиться свободно анализировать многочисленные взаимные связи между различными тактическими и техническими характеристиками бортовых радиолокаторов, разобраться в особенностях функционирования МНРЛС в различных режимах работы. При этом целесообразно начать с основных режимов работы МНРЛС («Метео», «Земля», «Контур», «Снос»), в которых осуществляется прием отраженных сигналов от метеорологических объектов или поверхности земли. Следует рассмотреть особенности эксплуатационно-технических характеристик радиолокатора с режимом «Маяк», когда осуществляется прием сигналов, переизлученных расположенными на земной поверхности РЛМО, которые формируют ответные сигналы по запросу МНРЛС. При расчете и обосновании технических характеристик радиолинии МНРЛС-РЛМО и РЛМО-МНРЛС необходимо учитывать влияние помеховых отражений запросного сигнала от подстилающей поверхности, в том числе от взволнованной морской поверхности.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните, почему МНРЛС можно считать многофункциональным радиолокатором?

2. Назовите факторы, влияющие на выбор длины волны МНРЛС. Какие существуют ограничения на выбор рабочих частот МНРЛС и чем они вызваны?
3. Рассматривая МНРЛС как систему, назовите системы более высоких и более низких иерархических уровней.
4. Нарисуйте не менее трех различных вариантов структурных схем МНРЛС, состоящих из трех или четырех основных блоков.
5. Что такое показатель потенциала МНРЛС и от чего он зависит?
6. Поясните связь между статистическими характеристиками обнаружения и техническими характеристиками МНРЛС.

4.4. Влияние кренов самолета на работу бортового радиолокатора. Методы стабилизации зоны обзора.

Влияние поперечного и продольного кренов на положение зоны обзора и на радиолокационное изображение при приеме веерным и игольчатым лучом антенны. Прямой и косвенный методы компенсации поперечного крена. Косвенный метод компенсации продольного крена. Рабочее уравнение гиросtabilизации зоны обзора и его реализации в конкретных схемах РЛС. Особенности стабилизации зоны обзора цифровых МНРЛС.

Литература: (14), (18).

Следует иметь в виду, что необходимость учета и компенсации искажений радиолокационного изображения, которые возникают при кренах воздушного судна, является одной из основных особенностей бортовых РЛС. Необходимо четко уяснить принципы действия, преимущества и недостатки различных систем стабилизации зоны обзора. Особенное внимание необходимо уделить системе косвенной стабилизации зоны обзора, которая получила наибольшее распространение в современных МНРЛС. Уяснив физический смысл рабочего уравнения косвенной стабилизации и разобрав работу упрощенной функциональной схемы, целесообразно перейти к детальному изучению системы стабилизации радиолокатора «Гроза».

В цифровых МНРЛС могут достаточно просто реализовываться более точные, чем в аналоговых радиолокаторах, алгоритмы формирования корректирующих воздействий на антенну. Коды углов крена и тангажа в таких МНРЛС поступают обычно в блок приема-передатчика, где формируются сигналы управления антенной.

Вопросы для самопроверки

1. Какое влияние оказывают крены самолета на радиолокационное изображение?

2. Дайте сравнительную характеристику различных методов стабилизации зоны обзора бортовых РЛС.
3. Каким образом необходимо повернуть рефлектор антенны в системе косвенной стабилизации, если азимут равен 90° , крен 5° , а тангаж отсутствует?

4.5. Особенности передающих устройств бортовых радиолокаторов

Основные требования, предъявляемые к передатчикам импульсных бортовых радиолокаторов. Улучшение согласования магнетрона с нагрузкой. Накальная характеристика магнетронов. Упрощенные схемы магнитного, магнитно-тиристорного и тиристорного модуляторов соответственно РЛС «Гроза», «Контур-10», «Градиент». Контроль и регулировка тока магнетронов. Реле времени. Контроль, защита и управление в передатчиках бортовых РЛС. Техника безопасности при работе с передающими устройствами радиолокационных станций.

Литература: (3), (8), (14), (15), (17), (19).

В бортовых радиолокационных системах в настоящее время находят применение как однокаскадные передатчики (на магнетронах), так и многокаскадные, строящиеся по схеме возбудитель-умножитель частоты-усилитель. Необходимо уяснить преимущества и недостатки обоих видов передающих устройств. Следует также обратить внимание на имеющиеся тенденции снижения генерируемой мощности, повышения стабильности частоты и постепенного перехода на твердотельную элементную базу передатчиков МНРЛС.

Изучая принципы действия импульсных модуляторов, необходимо уяснить особенности применения различных коммутирующих приборов (электронных ламп, нелинейных индуктивностей, тиристоров, транзисторов), а также четко усвоить преимущества и недостатки режимов работы с полным и частичным разрядом накопителя.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы тенденции развития передатчиков бортовых РЛС?
2. Начертите обобщенную функциональную схему импульсного модулятора и объясните его работу.
3. Дайте сравнительную характеристику режимам частичного и полного разряда накопителя.

4. Зачем последовательно с тиристорным коммутатором иногда включают нелинейный дроссель?

5. Почему в магнитно-тиристорном модуляторе РЛС «Гроза» в цепь заряда и разряда низковольтного накопителя включены обмотки выходного импульсного трансформатора?

4.6. Особенности антенных устройств бортовых радиолокаторов

Типы антенн, применяемых в бортовых РЛС. Переключение формы диаграммы направленности («веерный луч - игольчатый луч»). Антенные переключатели с ферритовыми циркуляторами и устройствами защиты приемника. Краткие сведения об антенных обтекателях. Особенности эксплуатации антенн бортовых РЛС. Устройства и методы контроля параметров антенно-фидерных систем. Техника безопасности при работе с радиолокационными антеннами.

Литература: (3), (7), (14), (19), (40).

При изучении данного раздела следует учесть, что в современных МНРЛС используются не только антенны зеркального типа, но и пассивные щелевые антенные решетки (например, в радиолокаторе «Контур-10»). Необходимо уяснить требования, предъявляемые к антенным устройствам бортовых РЛС, в частности, понять, почему важно обеспечить низкий уровень боковых лепестков (на 20-25 дБ ниже уровня основного лепестка). Преимуществом зеркальных антенн является относительная простота коммутации формы диаграммы направленности с помощью ферритового вращателя плоскости поляризации, а недостатком (по сравнению с щелевыми антенными решетками) - относительно высокий уровень боковых лепестков. Следует также иметь в виду, что в последнее время в качестве привода антенны часто используют шаговые двигатели.

Необходимо ознакомиться с особенностями антенно-фидерных устройств и антенных переключателей МНРЛС: «Градиент», «Гроза», «Контур 10».

Вопросы для самопроверки

1. Какие требования предъявляются к форме диаграммы направленности антенны МНРЛС?
2. Дайте сравнительную характеристику длиннофокусных и короткофокусных зеркальных антенн. Какая антенна (длинно- или короткофокусная) используется в РЛС «Гроза»?
3. Почему в антенных переключателях используют два циркулятора, а не обходятся одним (например, в РЛС «Гроза»)?
4. Каково назначение разрядника защиты приемника?

5. Какими двумя различными способами информация об азимутальном положении антенны МНРЛС может передаваться на индикатор? В качестве примеров рассмотрите РЛС «Гроза» и «Контур-10».

4.7. Особенности приемных устройств бортовых радиолокаторов

Влияние амплитудной характеристики приемно-индикаторного тракта на качество радиолокационного изображения. Требования, предъявляемые к приемным устройствам бортовых РЛС. Методы получения логарифмических амплитудных характеристик УПЧ и различных амплитудных характеристик видеоусилителей в типовых бортовых радиолокаторах. Устройство выделения метеорологической информации. Особенности схем ВАРУ типовых бортовых радиолокаторов. Регулировка схем ВАРУ. Основные операции по измерению характеристик приемников и поиску неисправностей.

Литература: (3), (8), (11), (14), (15), (20), (26).

Прежде всего необходимо рассмотреть функциональную схему приемного радиолокационного устройства супергетеродинного типа, уяснить основные требования к параметрам приемника, влияние их на основные эксплуатационно-технические характеристики всей РЛС, понять назначение каждого функционального элемента и требования к нему.

Необходимо обратить внимание на меры, которые принимаются в приемниках бортовых РЛС для снижения общего коэффициента шума. При этом далеко не всегда идут по пути применения усилителей СВЧ, но, как правило, используют балансные смесители на кристаллических диодах и первые каскада усилителей промежуточной частоты (УПЧ) выполняют по малошумящим схемам. Следует вспомнить и углубить известные из курса радиоприемных устройств представления о физике подавления шумов гетеродина в балансных смесителях, рассмотреть их практические схемы.

Для получения большого коэффициента усиления применяют многокаскадные УПЧ, которые конструктивно часто выполняют в виде двух узлов: ПУПЧ – предварительный УПЧ и основной УПЧ. В УПЧ реализуется оптимальная или квазиоптимальная фильтрация принимаемых сигналов, поэтому прежде, чем перейти к анализу практических схем приемников бортовых РЛС, следует повторить соответствующие разделы курсов «Радиоприемные устройства» и «Теоретические основы радиолокации».

Подробно следует остановиться на методах обеспечения широкого (порядка 70 дБ) динамического диапазона приемного канала радиолокатора. Можно понять причины использования УПЧ с логарифмической амплитудной характеристикой (ЛАХ) в бортовых РЛС с яркостной индикацией и рассмотреть две основные группы методов получения ЛАХ в УПЧ:

1) методы изменения коэффициентов передачи;

2) методы сложения выходных сигналов.

Необходимо проанализировать два базовых метода построения УПЧ с ЛАХ, которые находят наиболее широкое применение в МНРЛС: метод последовательного детектирования с линейным сложением напряжений с выходов усилительных каскадов (относящихся ко второй группе) и метод шунтирования нагрузки нелинейными элементами (относящихся к первой группе). Следует выполнить сравнительный анализ различных методов получения ЛАХ.

Каскады видеоусиления, которыми обычно заканчивается приемный канал МНРЛС, конструктивно могут быть расположены как в блоке индикатора так и в приеме-передатчике. Изучая видеотракт РЛС, следует сначала рассмотреть особенности требований к амплитудным характеристикам традиционного видеоусилителя в различных режимах работы МНРЛС. При этом необходимо четко уяснить причины применения, физический смысл и особенности амплитудных характеристик трехтоновых видеоусилителей, которые используются при обзоре земной поверхности в РЛС с яркостной индикацией. Затем необходимо рассмотреть требования к видеоусилителям и особенности их реализации в режимах «Метео» и «Контур». В некоторых МНРЛС в режиме «Метео» используется специальный видеоусилитель-формирователь сигналов опасных направлений полета («Гроза-М»).

Следует иметь в виду, что в видеоканале осуществляется не просто усиление сигналов, а их специальная обработка с целью выделения того или иного вида полезной информации (об опасных метеообъектах, о характерных ориентирах и т.п.). В перспективных МНРЛС эта обработка выполняется в цифровой форме.

Особенностью МНРЛС, осуществляющих количественный анализ опасности метеообъектов по амплитудным характеристикам сигналов, является наличие схемы ВАРУ, которые позволяют устранить зависимость величины отраженного сигнала от дальности. Обычно дистанция действия ВАРУ ограничена расстоянием, на котором не требуется высокая чувствительность приемника. Необходимо изучить требования к форме импульсов ВАРУ, разобраться в особенностях их регулировки и рассмотреть примеры конкретной реализации.

К приемному каналу обычно относят также системы АПЧ, которые рассматриваются в следующем разделе.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы требования к чувствительности приемника МНРЛС?
2. Почему в современных МНРЛС целесообразно применение усилителей СВЧ?
3. Дайте сравнительную характеристику различных методов получения ЛАХ в УПЧ.

4. Поясните роль устройства ВАРУ при локализации опасных метеорологических объектов по их отражаемости.
5. Из каких соображений выбирается уровень отсечки амплитудной характеристики видеоусилителя в режиме «Контур»?

4.8. Особенности устройства АПЧ бортовых радиолокаторов

Особенности АПЧ импульсных радиолокаторов. Обобщенная функциональная схема АПЧ бортовых радиолокаторов. Правильная и ложная настройка гетеродина. Методы исключения ложной настройки: поиск в ограниченных пределах и направленный поиск частоты. Ручной и автоматический поиск частоты. Особенности управляющих схем АПЧ при использовании в качестве гетеродина отражательного клистрона и лампы обратной волны. Особенности настройки отражательного клистрона. АПЧ непрерывно-ищущего типа.

Литература: (3), (8), (11), (14), (15), (20), (26).

Необходимо знать достоинства и недостатки одно- и двухканальной АПЧ, а также назначение элементов функциональных схем систем АПЧ. В качестве примера следящей АПЧ разностного типа целесообразно рассмотреть систему АПЧ РЛС «Гроза». Следует иметь в виду, что при модернизации РЛС «Гроза» первоначальная схема АПЧ усовершенствована, что позволило, в частности, автоматизировать поиск при включении РЛС. Для правильной и устойчивой работы АПЧ важно, чтобы импульс опорной частоты от передатчика был стабилен по параметрам. Поэтому для устранения влияния изменения параметров сигнала в течение длительности импульсов передатчика в последнее время используют стробирующие импульсы, которые открывают вход схемы АПЧ только на время действия плоской части огибающей зондирующего импульса.

Вопросы для самопроверки

1. Почему в МНРЛС используют разностную систему АПЧ?
2. Дайте сравнительную характеристику одно- и двухканальной схемы АПЧ.
3. В чем отличие между поисковой и следящей системами АПЧ?
4. Укажите три конструктивных узла в блоке приемо-передатчика РЛС «Гроза», относящихся к системе АПЧ.
5. В чем состоят преимущества и недостатки гетеродинов на клистронах, ЛОВ и диодах Ганна с точки зрения реализации АПЧ?

4.9. Цифровые устройства приема и обработки радиолокационной информации

Принципы цифровой обработки сигналов. Структуры цифровых вычислителей алгоритмов обработки сигналов в приемных устройствах импульсных РЛС. Цифровое обнаружение и оценка параметров радиолокационных сигналов.

Литература: (3),(8),(9),(12),(22),(27).

В связи с широким использованием бортовых цифровых машин на самолетах ИЛ-96-300 и ТУ-204 появилась возможность цифровой обработки радиолокационной информации. Следует различать назначение первичной и вторичной обработки радиолокационного сигнала. Первичная обработка (ПО) связана с задачами обнаружения цели, измерения и фильтрации принятых сигналов. При вторичной обработке производится определение траекторий движения целей, автоматическое сопровождение целей и т.п. Наиболее часто используемой схемой реализации цифровой обработки является схема дискретизации сигнала по дальности и амплитуде.

В данном разделе необходимо изучить элементы цифровых вычислителей, их взаимосвязи и взаимодействие, необходимые условия обмена информацией с внешними устройствами.

4.10. Особенности индикаторов и схем развертки

Упрощенные схемы формирования радиально-круговой (радиально-секторной) развертки с дискретным плавным измерением масштаба в типовых РЛС («Гроза», «Гроза-М», «Градиент»).

Фиксаторы уровня. Принцип отображения опасных направлений полета при обнаружении метеорообразований. Методы уменьшения мерцаний и повышения яркости изображений. Индикаторы с запоминающими электронно-лучевыми трубками («Гроза-86», «Градиент» Индикаторы с цифровой памятью («Контур-10»). Цветные индикаторы телевизионного типа.

Литература: (3),(4),(8),(10),(11),(12),(22),(27),(38).

Необходимо иметь в виду, что в последние годы наметилось достаточно большое разнообразие устройств индикации, использующихся в бортовых РЛС. В частности, находят применение индикаторы на ЭЛТ с длительным послесвечением («Гроза»), индикаторы с накопительными ЭЛТ («Градиент», «Гроза-86»), индикаторы на ЭЛТ телевизионного типа («Контур-10»), индикаторы на цветных ЭЛТ (также с телевизионной развёрткой). Одной из

наиболее важных проблем является обеспечение необходимой яркости изображения в широком диапазоне изменений фоновой освещенности в кабине ВС. Необходимо разобраться в особенностях различных типов индикаторных устройств, преимуществах и недостатках каждого из них. Индикаторы телевизионного типа находят преимущественное применение в цифровых МНРЛС. В случае применения цветных индикаторов появляется возможность использования цветового кодирования вместо яркостного (например, опасные зоны отображаются красным цветом).

Следует уяснить, что в любом индикаторе МНРЛС отметки от всех целей в пределах дальности действия отображаются в полярной системе координат, которая наиболее удобна для пилота. Однако, если в индикаторах с большим послесвечением электронный луч, двигаясь по экрану, как бы воспроизводит в том же темпе движение зондирующего импульса в плоскости обзора (радиально-секторная развертка), то в индикаторах телевизионного типа данные о дальности, азимуте, отражаемости цели и т.п. снимаемые с выхода приемопередатчика, запоминаются в цифровом запоминающем устройстве (памяти) индикатора. Считывание из памяти этих данных осуществляется с гораздо большей скоростью (примерно в 100 раз быстрее). При этом последовательность адресов считывания выбирается такой, чтобы на экране воспроизводилась исходная «Картина» в полярных координатах. Для обработки большого объема радиолокационной информации в таких индикаторах находят применение 16-разрядные микропроцессоры.

Детально необходимо изучить метода формирования радиально-секторной развертки, используемые в РЛС «Гроза», «Гроза-М». Рассмотреть устройство и принцип действия СКБТ, схемы генераторов развертки и фиксации начала развёртки.

Вопросы для самопроверки

1. Какой тип индикаторных устройств обеспечивает наибольшую яркость изображения?
2. Какие преимущества имеют индикаторы телевизионного типа с памятью по сравнению с другими типами индикаторов?
3. Зачем необходимо преобразование радиолокационного изображения в телевизионное в случае использования ЭЛТ с большой яркостью, но с малым послесвечением?
4. Нарисуйте эюры токов в статорных обмотках СКБТ за время обзора в случае использования радиально-секторной развертки в ЭЛТ с магнитным управлением и большим послесвечением.
5. В чем отличие схем развертки радиолокаторов «Гроза» и «Контур»?

4.11. Синхронизаторы бортовых радиолокаторов

Назначение синхронизаторов. Внешняя и внутренняя синхронизация. Методы формирования масштабных меток дальности. Особенности построения синхронизаторов РЛС «Гроза», «Контур», «Градиент».

Литература: (3), (14), (15), (18).

Схемы синхронизации всегда играли большую роль в радиолокационных устройствах. Традиционное назначение синхронизаторов- выработка последовательности запускающих импульсов с частотой, равной частоте повторения зондирующих импульсов РЛС, главным образом, для согласования момента времени излучения зондирующего импульса с моментом времени запуска развёртки. Кроме того, синхронизатор вырабатывает масштабные импульсы, служащие для получения на экране индикатора меток дальности, и импульсы подсвета. Обычные проблемы, для схем синхронизации, связаны с обеспечением достаточной стабильности частоты повторения импульсов (при запуске модулятора импульсом от синхронизатора) и с обеспечением совпадения начала развёртки с меткой нулевой дальности (при запуске синхронизатора старт-импульсом от модулятора).

Синхронизаторы нашли решение в различных схемах синхронизации:

- при помощи кварцевого автогенератора;
- с использованием ультразвуковой линии задержки;
- с синхронизацией от бортовой сети ВС.

Необходимо познакомиться с построением узлов синхронизации аналоговых РЛС «Гроза». В РЛС с накопительными ЭЛТ в качестве индикаторов синхронизатор вырабатывает также импульсы стирания изображения на экране.

В случае использования цифровой обработки сигналов и цифрового управления в МНРЛС функции синхронизатора значительно расширяются и он обычно «вырастает» в блок управления, который вырабатывает целую серию различных тактовых и пусковых импульсных последовательностей, обеспечивающих согласованную во времени работу всех узлов системы. Блоки управления обеспечивают тактовыми сигналами схемы АЦП и ЦАП, узлы адресации по дальности и азимуту, при записи в считывании данных, схемы управления приводом антенны, синхронизируют логику обработки радиолокационной информации, строчную и кадровую развёртки индикатора, схемы автоконтроля и т.д.

Вопросы для самопроверки

1. Какой метод синхронизации применен в РЛС «Гроза»?

2. Каковы требования к стабильности частоты повторения импульсов в МНРЛС? В каких случаях эти требования могут возрасти?
3. В чём состоит принцип защиты РЛС от несинхронных помех?
4. Какие изменения внесены в узел синхронизации РЛС «Гроза-М» по сравнению с радиолокатором «Гроза»?
5. В чем особенности устройств синхронизации цифровых МНРЛС?

4.12. Системы встроенного контроля бортовых радиолокаторов

Назначение системы встроенного контроля. Основные принципы проверки функционирования приёмо-передающего и индикаторного устройства гиросtabilизации зоны обзора, энергетического потенциала бортовых радиолокаторов.

Литература: (3), (14), (15), (17).

В бортовых радиолокаторах первого поколения (ГПСН, Р03-1) обычно предусматривались цепи ручного встроенного контроля тока магнетрона, тока кристаллов балансных смесителей, питающих напряжений. В РЛС второго поколения («Гроза»), надёжность которых значительно выше, с целью упрощения оборудования от приборов встроенного контроля отказались. Проверка таких РЛС осуществляется путем подключения к контрольному разъему радиолокатора специального переносного блока контроля.

Дальнейшее развитие элементной базы, схемотехники, переход к использованию цифровых устройств создали техническую основу для широкого внедрения в бортовых РЛС систем автоматизированного и автоматического встроенного контроля. В современных МНРЛС обязательно предусматриваются системы встроенного контроля.

Следует иметь в виду, что на практике для контроля работы узлов и блоков РЛС используются различные принципы. Например, проверка энергетического потенциала может осуществляться путем подачи через аттенюатор определенной части, мощности передатчика на вход приемного канала. Сигнализация об исправности того или иного узла может осуществляться путем выработки на его контрольном выходе логической единицы (исправен) или нуля (неисправен). Качество функционирования некоторых узлов и блоков РЛС (видеоусилителя, индикатора) может проверяться путем подачи на вход сигналов специальной формы от генератора контрольных импульсов. Особенно просто и удобно организовать проверку качества функционирования и отобразить ее результаты в цифровых РЛС с помощью индикаторов телевизионного типа.

Целесообразно рассмотреть принципы работы и технические решения систем встроенного контроля радиолокаторов «Гроза-М», «Градиент», «Контур-10», пользуясь инструкциями по эксплуатации этих радиолокаторов.

Вопросы для самопроверки

1. Предложите классификацию систем встроенного контроля бортовых РЛС.
2. Чем отличаются системы встроенного контроля в радиолокаторах «Градиент» и «Контур»?
3. Каковы перспективы развития систем встроенного контроля?

4.13. Перспективы развития бортовых РЛС

Фазированные антенные решетки и электронное сканирование диаграммы направленности антенны. Многофункциональные индикаторы. Анализ турбулентных явлений в атмосфере. Когерентные радиолокаторы. Основные характеристики и особенности построения перспективных отечественных и зарубежных бортовых радиолокаторов, их значение для дальнейшего повышения безопасности полётов.

Литература: (10), (11), (3), (17), (37).

Необходимо помнить, что теория и техника радиолокации непрерывно развиваются. Совершенствуется элементная база, методы обработки сигналов и принципы построения различных радиоэлектронных устройств. Перспективы развития отдельных узлов бортовых РЛС следует рассматривать при изучении соответствующих разделов. В целом развитие МНРЛС идет по следующим направлениям:

- 1) использование цифровой обработки сигналов и цифрового управления системой;
- 2) переход на полностью твердотельную элементную базу;
- 3) использование более "тонких" методов (алгоритмов) обработки сигналов с целью извлечения метеорологической информации;
- 4) использование когерентных передающих устройств с низкими излучаемыми мощностями и высокой стабильностью частоты;
- 5) применение фазированных антенных решеток;
- 6) переход к индикаторам телевизионного типа с цифровой памятью и цветному отображению информации;
- 7) стандартизация различных конфигураций РЛС в части их совместимости между собой и с другими бортовыми системами, использование единой системы электронной индикации.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите перспективные направления повышения эффективности МНРЛС в части получения оперативной метеорологической информации.

2. Какие преимущества дает использование твердотельных когерентных передатчиков в МНРЛС?
3. Назовите перспективную элементную базу в области приёмных устройств.
4. Назовите перспективные направления развития РЛС, используемых в радиолокаторе «Контур» и МНРЛС-85.

4 14. Самолётные радиолокационные ответчики

Основные достоинства систем с активным ответом. Их роль в управлении воздушным движением и в обеспечении безопасности полетов. Основные требования ГОСТ 21800-76 «Системы вторичной радиолокации для УВД» и соответствующего стандарта СЭВ 1823-79 к самолетным ответчикам. Обобщенная структурная схема системы «Наземный запросчик-самолетный ответчик». Обобщенная функциональная схема самолетного ответчика. Схемотехнические особенности функциональных узлов типовых самолетных ответчиков СОМ-64, СО-69, СО-70. СО-72М и режимов их работы. Контрольная аппаратура самолетных ответчиков КАСО, ее назначение и принцип построения.

Литература: (3), (9), (19), (20).

При изучении раздела, посвященного системам активной радиолокации, следует обратить внимание на применение метода активной радиолокации для решения различных задач и преимущества этого метода по сравнению с пассивной радиолокацией. Особое внимание следует уделить роли систем активной радиолокации, и в частности, вторичной радиолокации в управлении воздушным движением.

Изучение системы вторичной радиолокации для УВД и самолетных ответчиков следует начинать с изучения стандартов и требований, предъявляемых к работе ответчиков, а также к работе систем вторичной локация в целом. В этом разделе следует обратить внимание на структуру и особенности кодов, применяемых для кодирования информации в различных режимах, на структуру и особенности информационных сигналов самолетных ответчиков. Особое внимание следует уделить вопросам борьбы с боковыми лепестками диаграммы направленности антенны запросчика.

При изучении обобщенной структуры схемы системы вторичной радиолокации следует обратить внимание на методы отображения различной информации на экране индикатора, методы представления цифровой графической информации диспетчеру.

Приступая к изучению раздела, посвященного принципам и методам построения схем ответчиков, схемотехническим особенностям функциональных узлов ответчиков, необходимо тщательно изучить структуру

информационных сигналов в различных режимах, методы преобразования кодов и формирования информационных сигналов.

Учитывая специфику изучаемого материала, связанную с передачей информации в цифровом виде, особое внимание следует уделить изучению элементов цифровых устройств импульсной и вычислительной техники.

В самолетных ответчиках подлежит передаче на землю дополнительная информация, представляющая собой номер борта (рейса), высоту, скорость, запас топлива. В связи с этим одним из важных вопросов при изучении темы является вопрос преобразования и ввода информации, выбор алгоритма преобразования высоты в код и построения устройств схем преобразования. При изучении электронных схем преобразования информации, в частности, высоты в код, следует предварительно ознакомиться с принципами построения аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразований. Изучение раздела следует завершать ознакомлением с конструкцией самолетных ответчиков, элементной базой, особенностями установки аппаратуры, и в частности, элементов антенно-фидерной системы на борту самолета, а также изучением контрольной аппаратуры самолетных ответчиков, ее назначения и принципа построения.

Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлено применение систем вторичной радиолокации для управления воздушным движением?
2. В чем состоит отличие кодов, применяемых для кодирования информации о высоте, в режимах УВД и RBS?
3. Каковы особенности применения трехимпульсной системы подавления боковых лепестков по запросу и системы с плавающим порогом?
4. В чем заключаются особенности системы отображения информации в системах ВРЛ?
5. Каковы отличия информационных сигналов в режимах УВД и RBS?
6. Как решена проблема разрешающей способности по дальности в системах ВРЛ?
7. Каковы основные принципы ввода различной информации в самолетных ответчиках?
8. В чем состоят методы преобразования информации в импульсы информационной посылки в режимах УВД и RBS?
9. Каковы отличия передачи специальных сигналов в различных режимах?
10. В чем заключаются основные принципы построения схем шифраторов, преобразователей высоты в код?
11. Каковы требования к размещению элементов антенно-фидерной системы на борту самолета?

4.15. Общие сведения о наземных РЛС ГА

Классификация наземных РЛС. Основные типы наземных РЛС, их основные характеристики.

Литература: (4), (9),(34).

Бортовое и наземное радиолокационное оборудование образуют единый комплекс, играющий важную роль в обеспечении безопасности полетов. Следует рассмотреть назначение, принцип действия и основные параметры наземных РЛС: аэродромных, посадочных, трассовых, аэроузловых, обзора летного поля, обзорно-посадочных для МВЛ, метеорологических. Необходимо обратить особое внимание на эксплуатационно-технические характеристики вторичных РЛС, которые работает совместно с бортовыми ответчиками.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите состав и основные характеристики оборудования радиолокационного комплекса, входящего в автоматизированную систему УВД.
2. Каково назначение посадочных радиолокаторов?
3. Каково назначение трассовых, аэроузловых РЛС, метеорологических радиолокаторов?

4.16. Заключение

Обзор бортовых радиолокаторов. Сравнительные характеристики по характеру решаемых задач, по основным конструктивным и схемотехническим особенностям. Обзор самолетных ответчиков по особенностям конструкции, режимам работы и схемотехническим решениям.

Литература: (3), (9), (12), (17).

В заключение изучения дисциплины РЛС ВС необходимо проанализировать и обобщить основные сведения по всем изученным разделам, проанализировать эксплуатационно-технические характеристики и особенности конкретных типов радиолокационного оборудования воздушных судов. Полезно составить таблицы основных параметров бортовых радиолокаторов и самолетных ответчиков.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте сравнительную характеристику радиолокаторам «Гроза», «Гроза-М», «Градиент», «Контур-10».
2. Дайте сравнительную характеристику самолетным ответчикам СО-69, СО-70, СО-72М.

V. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Для оценки степени самостоятельного усвоения изученного материала студент должен ответить для себя на все вопросы самопроверки, приведенные в IV разделе настоящих методических указаний.

С целью наиболее полной подготовки к экзамену и выполнению курсового проекта необходимо выполнить и представить в установленный срок контрольную работу, в содержание которой входят:

письменные ответы на два вопроса;

решение задачи.

Номер варианта задания, которое должен выполнить студент, определяется двумя последними цифрами шифра его зачетной книжки (см. табл. 1).

Таблица 1

Номер варианта	Две последние цифры номера зачетной книжки	Номер варианта	Две последние цифры номера зачетной книжки
1	01; 27; 53; 79	14	14; 40; 80; 88
2	02; 28; 54; 76	15	15; 41; 63; 89
3	03; 29; 51; 77	16	38; 64; 90; 16
4	04; 26; 52; 78	17	17; 43; 69; 95
5	05; 31; 57; 83	18	18; 44; 70; 92
6	06; 32; 58; 61	19	19; 45; 67; 93
7	07; 33; 55; 81	20	20; 42; 68; 94
8	08; 30; 56; 82	21	21; 47; 73; 99
9	09; 35; 66; 87	22	22; 48; 74; 96
10	10; 36; 62; 84	23	23; 49; 71; 97
11	11; 37; 59; 85	24	24; 46; 72; 98
12	12; 34; 60; 86	25	25; 50; 75; 00
13	13; 39; 65; 91		

Ниже приводится содержание каждого из 25 вариантов контрольного задания. Каждое задание охватывает общую часть курса, метеонавигационные радиолокаторы и самолетные ответчики.

Вариант 1

1. Приведите обобщенную структурную схему импульсного модулятора и анализ его работы.
2. Поясните структурную схему блока БПИ-АЦ ответчика СО-72М, его назначение и принцип работы.
3. Дайте количественную оценку связи числа оборотов антенны с ее конструктивными особенностями, если $N = 10$ об/мин; радиус шкалы $r_{\text{шк}} = 15$ см; $F = 400$ имп/с – частота следования импульсов.

Вариант 2

1. Поясните функциональную схему трехтонового видеоусилителя МНРЛС «Гроза-40».
2. Каковы особенности работы ответчика с посадочной РЛС? Поясните функциональную схему блока посадочных сигналов (БПС) ответчика СО-69.
3. Выберите длину волны фазового дальномера, если дальность действия последнего составляет 100 м, а фаза отраженного сигнала равна $\pi/4$.

Вариант 3

1. Поясните использование нелинейной индуктивности в качестве коммутирующего прибора. В чем преимущества и недостатки этих коммутаторов?
2. Поясните принцип работы и структурную схему преобразователя высоты в код ответчика СО-69.
3. Определите мощность излучения БРЛС, если средняя мощность излучения составляет 50 Вт, коэффициент заполнения равен $8 \cdot 10^{-2}$.

Вариант 4

1. Какие меры приняты в МНРЛС «Гроза-40» для расширения динамического диапазона сигналов приемника?
2. Функциональная схема и принцип формирования линейно-изменяющегося напряжения преобразователя высоты в код ответчика СО-69.
3. Какой разрешающей способностью по углу может обладать БРЛС, имеющая $\lambda = 3,2$ см, а $d = 80$ см? (d – диаметр зеркала антенны).

Вариант 5

1. Составьте упрощенную схему двухкаскадного магнитно-тиристорного модулятора и поясните принцип его работы.
2. Поясните назначение фазового детектора канала стабилизации и управления антенной МНРЛС «Гроза-40».
3. Каким должен быть уровень мощности излучения импульса запроса в направлении главного лепестка ДН, если величина мощности, излучаемой антенной подавления, составляет 14 дБ. (Случай двухимпульсной системы подавления боковых лепестков ДНА).

Вариант 6

1. Дайте сравнительную характеристику зеркальных антенн и пассивных щелевых антенных решеток, использующихся в МНРЛС.
2. Поясните функциональную схему и принцип работы канала подавления запроса по боковому лепестку наземной РЛС.
3. К чему приведет выход из строя внешнего винта в передатчике СО-72М?

Вариант 7

1. Поясните принцип коммутации формы диаграммы направленности в зеркальных антеннах бортовых РЛС.
2. Поясните функциональную схему и принцип работы регистра сдвига ответчика СО-69.
3. Определите необходимое число уровней квантования сигнала АЦП, стоящим на выходе приемо-анализирующего тракта БМНРЛС, если $U_{\max} = 6$ В, $U_{\min} = 1$ В.
Указание: шаг квантования (ν) для устройства обработки считать средним.

Вариант 8

1. Какова структура информационного сигнала в режиме RBS, его объем и точность передаваемой информации?
2. Поясните принцип формирования развертки индикатора секторного обзора МНРЛС «Гроза».
3. Оцените дальность действия РЛС с учетом затухания в атмосфере, если дальность в свободном пространстве $D_0 = 100$ км, а коэффициент километрического затухания $\gamma = 0,04$.

Вариант 9

1. На каком максимальном расстоянии можно обнаружить самолет типа Ил-62 с помощью РЛС «Гроза»?
2. Приведите функциональную схему УПЧ приемника ответчика СО-72. Поясните принцип ее работы.
3. Определите потенциальную точность измерения дальности для сигнала, имеющего колоколообразную форму, $\tau_{\text{и}} = 2$ мкс; $q = 8$; $n_{\text{и}} = 20$.

Вариант 10

1. Поясните принцип формирования масштабных меток в МНРЛС «Гроза-40».
2. Поясните функциональную схему передатчика ответчика СО-72, принцип перестройки частоты передатчика, особенности конструкции.
3. Как изменится вероятность правильного обнаружения сигнала с полностью известными параметрами при увеличении q с 4 до 6 и $P_{\text{л.т.}} = 10^{-6}$?

Вариант 11

1. Поясните принцип определения угла сноса с использованием вторичного эффекта Доплера.
2. Поясните действие трехимпульсной системы подавления боковых лепестков по запросу. Приведите функциональную схему и поясните принцип работы.
3. Оцените вероятность правильного обнаружения на выходе УПЧ БРЛС, если отношение с/ш равно 12. (Случай обнаружения сигнала с флюктуирующей амплитудой и неизвестной начальной фазой, $P_{л.т.} = 10^{-6}$).

Вариант 12

1. Почему диоды балансного смесителя приемного канала РЛС «Гроза-40» относительно часто выходят из строя?
2. Какова структура кодов запроса самолетных ответчиков? Поясните функциональную схему дешифратора запроса, шифратора УВД ответчика СОМ-64.
3. Оцените параметры диодов $V_{23} \dots V_{27}$ в схеме передатчика РЛС «Контур».

Вариант 13

1. Каковы принципы обнаружения опасных метеорологических явлений с помощью МНРЛС?
2. Поясните функциональную схему шифратора координаторных кодов ответчика СОМ-64.
3. Дайте приблизительную оценку изменения зондирующего импульса для РЛС «Гроза», если величина C_{15} в схеме модулятора уменьшится в 2 раза.

Вариант 14

1. Каковы особенности основного уравнения радиолокации применительно к обнаружению облаков и осадков с помощью МНРЛС?
2. Поясните функциональную схему делителя частоты запуска канала информационного кода ответчика СОМ-64. В чем заключается его назначение и принцип работы?
3. Что произойдет с ПРМ РЛС «Гроза-М-154», если порог срабатывания компаратора в узле помехозащиты упадет до 0,1 В?

Вариант 15

1. Поясните метод индикации опасных направлений полета с помощью МНРЛС.
2. Поясните назначение и принцип работы функциональной схемы кварцевого калибратора ответчика СОМ-64. Каково назначение импульсов гребенок?
3. Что произойдет в схеме УПЧ ПРМ БРЛС «Гроза-154», если режим работы транзистора V_5 станет зависимым от изменения напряжения питания?

Вариант 16

1. Какие методы подавления паразитной межкаскадной связи использованы в принципиальной схеме УПЧ РЛС «Гроза-40»?
2. Поясните функциональную схему коммутатора опроса преобразователя вал-код ответчика СОМ-64. Каково назначение метода двойной щетки и выбор групп магнитных головок преобразователя?
3. Как повлияет на работу ВСК РЛС «Контур» изменение амплитуды импульсов запуска развертки на выходе УПТ?

Вариант 17

1. Приведите соображения по необходимому составу получаемой с помощью МНРЛС информации.
2. Поясните функциональную схему распределителя записи ответчика СОМ-64 и принцип формирования импульсов записи декад.
3. Как изменится режим работы РЛС «Гроза-М-154», если выйдет из строя узел стирания V_4 в схеме индикатора ГРЧ-ВЛ?

Вариант 18

1. Приведите соображения по выбору необходимой разрешающей способности МНРЛС и точности определения координат целей.
2. Поясните функциональную схему регистра сдвига шифратора УВД ответчика СОМ-64. В чем заключается принцип кодирования активной паузы?
3. Что произойдет, если полупериод собственных колебаний зарядного контура ($L_0C_{\text{фл.}}$) в схеме модулятора РЛС «Градиент» уменьшится в 2 раза?

Вариант 19

1. Приведите обоснование выбора необходимых значений вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги в МНРЛС.
2. Поясните функциональную схему и принцип работы коммутатора записи информации в регистр сдвига ответчика СОМ-64.
3. Оцените скорость вращения антенны, сканирующей в пределах $\pm 100^\circ$ антенны, если $R_{\text{max}} = 400$ км; $\Theta_\alpha^0 = 3^\circ$ и количество накапливаемых импульсов $n = 15$.

Вариант 20

1. Каково назначение диодных фиксирующих мостов в канале развертки МНРЛС «Гроза-40»?
2. Поясните функциональную схему и принцип работы дешифратора кодов запроса ответчика СО-70 (СОМ-64).
3. Определите необходимое число уровней квантования сигнала АЦП стоящим на выходе приемо-анализирующего тракта Б МНРЛС, если $U_{\text{max}} = 6$ В, $U_{\text{min}} = 1$ В.

Вариант 21

1. Проведите анализ функциональной схемы канала развертки МНРЛС «Гроза-40».
2. Поясните функциональную схему регистра сдвига ответчика СО-70 и принцип формирования информационной импульсной посылки.
3. Определите разрешающую способность импульсной РЛС, если $\tau=3$ мкс, $R_{\max} = 300$ км, радиус экрана $l_{\text{э}}=14$ см, диаметр пятна ЭЛТ $d_{\text{п}}=0,3$ мм.

Вариант 22

1. Поясните назначение вращающегося импульсного трансформатора (ВТИ) канала развертки МНРЛС «Гроза-40».
2. Поясните принцип работы и функциональную схему кварцевого калибратора ответчика СО-70.
3. Вам предлагается осуществить выбор интегральной микросхемы для построения тракта УПЧ БРЛС типа «Гроза», «Градиент». Какую из схем Вы предлагаете, если они соответственно имеют следующие верхние граничные частоты по крутизне: $f_s = 6, 10, 20$, МГц.

Вариант 23

1. Дайте описание функциональной схемы синхронизатора МНРЛС «Гроза-40».
2. Поясните структурную схему ответчика СО-72М.
3. К чему приведет выход из строя внешнего винта в передатчике СО-72М?

Вариант 24

1. Поясните выбор угловой скорости вращения антенны МНРЛС.
2. Поясните назначение, принцип работы и структурную схему приемопередающего блока СО-72М.
3. Определите постоянную времени разряда накопительного элемента импульсного модулятора, если сопротивление магнетрона $R_{\text{м}} = 800$ Ом, генератора $R_{\text{г}} = 600$ Ом, начальное значение и изменение анодного напряжения составляют соответственно 1 кВ и 100 В ($U_{\text{а}}, \Delta U_{\text{а}}$), а длительность зондирующих импульсов $\tau = 1$ мкс.

Вариант 25

1. Определите минимальную дальность действия МНРЛС «Гроза-40».
2. Поясните структурную схему блока БПИ-2М-15 ответчика СО-72М, его назначение и принцип работы.
3. Каково предельное значение дисперсии погрешностей отсчета координат по экрану ЭЛТ, если суммарное значение точности измерения $\sigma_{\Sigma} \approx 1,72$ км, а дисперсии, характеризующие потенциальную точность РЛС и ошибок, вызываемых условиями распространения радиоволн, составляют соответственно $\sigma_{\text{н}} = 1,5$ км и $\sigma_{\text{р}} = 0,5$ км?

Отвечать на вопросы контрольного задания необходимо кратко и четко, но с достаточной полнотой, демонстрируя при этом свое глубокое понимание сущности вопроса. В случае необходимости можно привести иллюстрации, поясняющие ответ. Форма постановки вопросов исключает при выполнении задания механическое переписывание учебника. Недопустимо искусственное расширение объема контрольной работы за счет приведения материалов, не имеющих прямого отношения к вопросу. Для выполнения контрольной работы достаточно владения материалом курса в объеме работ (3), (13), (14), (34) и технических описаний изучаемого радиоэлектронного оборудования (18), (19), (20). В случае отсутствия возможности воспользоваться необходимой технической документацией по данному типу оборудования, в отдельных случаях по согласованию с кафедрой допускается замена этого типа оборудования другим аналогичным по назначению.

VI. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

6.1. Общая характеристика курсового проекта

Курсовой проект по дисциплине "Радиолокационные системы ВС" выполняется студентами после глубокой проработки основной теоретической части курса. Целью проектирования является развитие умений расчета эксплуатационно-технических характеристик РЛЮ, расширение знаний об особенностях функционирования современного бортового радиолокационного оборудования, перспектив его развития, а также приобретение начальных сведений о правилах эксплуатации.

Необходимо отметить, что результаты проекта являются исходными данными для выполнения студентами в следующей семестре курсового проекта по дисциплине «Техническая эксплуатация РЭО».

В ходе проектирования приобретаются умения конструирования бортовых радиолокационных средств, расчета их функциональных узлов и блоков, обеспечения комплексирования радиолокационной информации для средств, входящих в состав современных цифровых комплексов ПНО. Все это служит подготовкой к будущей защите дипломного проекта.

Курсовые проекты по дисциплине имеют три направления:

1. Метеонавигационные радиолокационные станции.
2. Самолетные ответчики.
3. Бортовые системы предупреждения столкновений.

Необходимо отметить, что студенты могут предложить тематику проекта и по согласованию с руководителем заняться ее разработкой. Как правило, упомянутая тематика определяется потребностями авиапредприятий, тематикой НИРС и т.п.

Проект включает разработку и обоснование функциональной схемы всего устройства, решение конкретной технической задачи и оформление расчетно-пояснительной записки (объемом 35...45) наряду с графическим материалом, содержащим функциональные и принципиальные схемы и графики, поясняющие работу проектируемого устройства.

Необходимо иметь в виду, что детальная разработка принципиальной схемы должна выполняться только с учетом реализации рассматриваемой схемы на современной элементной базе.

6.2. Пояснительная записка

Пояснительная записка выполняется в соответствии с ГОСТ 2.105-79. После титульного листа должно идти техническое задание, далее содержание, включающее заголовки и соответствующие номера страниц, и введение, в котором обосновывается техническое задание и выбор путей его реализации. Текст записки должен содержать разрабатываемые и рассчитываемые схемы с указанием всех элементов, выбираемых по соответствующему ГОСТу. В пояснительную записку входит обоснование структурной схемы устройства в целом, расчет его эксплуатационно-технических характеристик, разработка и обоснование функциональной схемы проектируемого блока (узла) с последующим детальным расчетом элементов принципиальной схемы. Также в пояснительной записке отражаются основные материалы по предлагаемой методике контроля и регулировке принципиальной схемы разработанного блока (узла), затем составляются спецификация элементов и список использованной литературы, который располагается после заключения, содержащего мотивированные выводы по проделанной работе.

Дополнительные материалы: тексты программ, иллюстрации результатов статистической обработки данных или экспериментальных исследований, алгоритмы вычислений и т.д. представляются в соответствующих приложениях.

6.3. Графическая часть

Иллюстрационный материал курсового проекта должен содержать функциональную (всего устройства) и принципиальную (для рассчитываемого узла) схемы, которые могут быть выполнены и на одном листе. Чертежи выполняются согласно ГОСТ 2.702-75, а штамп – согласно ГОСТ 2.109-73. Все элементы по схеме показываются в соответствии с ГОСТами. Кроме этого, необходимо обратить внимание на изображение входных и выходных разъемов и устройств.

При необходимости на листы должен выноситься иллюстративный материал, содержащий эпюры, графики, поясняющие оригинальность выбранных решений.

6.4. Задание на курсовой проект

Задание на курсовой проект формулируется индивидуально для каждого студента и содержит общую и частную задачи. Общим является выбор, обоснование и расчет, эксплуатационно-технических характеристик, разработка структурной схемы бортовой радиолокационной системы, за базовый вариант которой необходимо принять одну из эксплуатируемых в настоящее время. Частной является задача детальной разработки функциональной и принципиальной схемы определенного узла (блока, тракта), входящего в состав разрабатываемой радиолокационной системы.

В настоящих методических указаниях разработано 25 вариантов заданий на курсовой проект. Номер варианта задания, который должен выполнить студент, определяется двумя последними цифрами номера его зачетной книжки и выбирается с помощью табл.2.

Таблица 2

Номер варианта	Две последние цифры номера зачетной книжки	Номер варианта	Две последние цифры номера зачетной книжки
1	01; 41; 74; 86	14	14; 48; 57; 93
2	02; 31; 60; 96	15	15; 28; 62; 78
3	03; 36; 70; 85	16	16; 44; 67; 89
4	04; 46; 55; 97	17	17; 34; 63; 99
5	05; 26; 75; 76	18	18; 39; 53; 82
6	06; 42; 65; 87	19	19; 45; 58; 92
7	07; 32; 61; 95	20	20; 29; 73; 79
8	08; 37; 51; 84	21	21; 45; 68; 90
9	09; 47; 56; 98	22	22; 35; 64; 00
10	10; 27; 71; 77	23	23; 40; 54; 81
11	11; 43; 66; 88	24	24; 50; 59; 91
12	12; 33; 62; 04	25	25; 30; 69; 80
13	13; 38; 52; 83		

Отметим, что варианты №№ 1...15 имеют общую часть и касаются разработки метеонавигационного бортового радиолокатора, варианты №№ 16...22 - самолетных ответчиков, а №№ 23...25 - систем предупреждения столкновений.

Варианты 1...15

Общая часть: спроектировать МНРЛС, имеющую значения максимальной дальности действия (D_{\max}) и вероятности правильного обнаружения целей ($P_{\text{п.с}}$), представленные в табл.3. Специальная часть представлена в табл.4.

Таблица 3

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
D км	590	250	300	350	450	550	400	350	250	350	400	450	500	550	450
P по	0,8	0,95	0,9	0,9	0,85	0,85	0,9	0,85	0,9	0,9	0,9	0,85	0,85	0,8	0,9

Таблица 4

Номер варианта	Содержание задания (детальная разборка)	Рекомендуемая литература
1	СВЧ-тракт приемника	[21],[24],[18].
2	Тракт ПЧ приемника	[1],[3],[8],[13],[14],[16],[18],[21],[25],[27].
3	Тракт АПЧ	[2],[3],[9],[11],[14],[15],[16],[17],[41],[43].
4	Канал синхронизации и формирования меток	[2],[3],[8],[9],[14],[15],[16],[17],[41],[43].
5	Тракт формирования развертки	[2],[3],[8],[9],[14],[15],[16],[41],[43].
6	Видеоусилитель	[1],[3],[10],[16],[17],[23],[33],[34],[42].
7	Модулятор с частичным разрядом накопителя	[3],[8],[13],[14],[16],[17],[29],[30],[31],[32],[44].
8	Модулятор с полным разрядом накопителя	[3],[8],[13],[14],[16],[17],[29],[30],[31],[32].
9	Индикатор аналого-цифровой РЛС, использующей телевизионный растр	[2],[3],[8],[13],[17],[21],[38],[41],[44].
10	Система сопряжения аналоговой РЛС с БЦВМ	[2],[3],[8],[13],[17],[21],[22],[24],[36].
11	Индикатор на цветной ЭЛТ (предложить систему цветного кодирования радиолокационной информации, разработать принципиальную и функциональную схемы узлов цветности)	[2],[3],[8],[13],[17],[21],[38],[40].
12	Цифровая ШАРУ приемо-анализирующего тракта	[2],[8],[9],[10],[22],[36],[42],[43].
13	Приемо-анализирующий тракт импульсной некогерентной РЛС с цифровой обработкой сигнала	[1],[3],[8],[9],[11],[21],[22],[23],[24],[36].
14	Цифровой измеритель дальности и азимута	[3],[6],[7],[8],[17],[23],[41],[42].
15	Система встроенного контроля	

Варианты 16...20

Общая часть: спроектировать самолетный ответчик системы УВД, имеющий чувствительность ($R_{пр. min}$) и допустимую погрешность измерения дальности (δ_d) (данные приведены в табл.5).

Таблица 5

Номер варианта		16	17	18	19	20
$R_{пр. min}$	УВД	-84	-65	-84	-65	-84
ДБ/Вт,	RBS	-104	-104	-104	-104	-104
δ_d , м		300	200	200	75	200

Специальная часть представлена в табл.6.

Таблица 6

Номер варианта	Содержание задания (детальная разборка)	Рекомендуемая литература
16	Шифратор координатных кодов и схема деления частоты запуска канала информационного кода	[3],[4],[9],[19],[20],[29],[35],[40].
17	Радиопередающие устройства (электровакуумных приборов не использовать)	[3],[4],[9],[19],[20],[30].
18	Преобразователь высоты в натуральный двоично-десятичный код (электронная схема преобразования)	[3],[4],[9],[19],[20],[31],[41],[42].
19	Дешифратор кодов запроса шифратора ИКАО и схема трехимпульсного подавления боковых лепестков по запросу	[3],[4],[9],[19],[20],[41],[42].
20	Приемный тракт	[3],[4],[9],[19],[20],[24],[26],[27].

Варианты 21,22

Общая часть: Спроектировать самолетный ответчик системы УВД с адресным запросом. Специальная часть представлена в табл.7.

Таблица 7

Номер варианта	Содержание задания (детальная разборка)	Рекомендуемая литература
21	Радиопередающий тракт	[3],[5],[8],[9],[35],[41],[42].
22	Приемный тракт	[3],[5],[8],[9],[35],[41],[42].

Варианты 23...25

Общая часть: Спроектировать бортовую автономную систему предупреждения столкновений, имеющую дальность действия (D_{\max}), равную 250 км. Специальная часть представлена в табл.8.

Таблица 8

Номер варианта	Содержание задания (детальная разборка)	Рекомендуемая литература
23	Антенная система определения направления на конфликтующую цель	[3],[5],[13],[17],[22],[27],[37].
24	Цифровой измеритель дальности и азимута	[3],[5],[13],[17],[22],[27],[37].
25	Узел сопряжения с БЦВМ	[3],[5],[13],[17],[22],[27],[37].

Как уже отмечалось выше, окончательный выбор варианта курсового проекта осуществляется совместно с преподавателем индивидуально и может носить отличающийся от представленных выше тем характер.

Студенты должны после ознакомления с заданием уточнить особенности выполнения задания.

6.5. Структура курсового проекта

6.5.1. Типовая структура курсового проекта и характеристика основных разделов

Типовая структура курсового проекта по разделам и объему представляется в следующем виде:

- титульный лист - 1 с.
- задание на курсовой проект - 1 с.
- введение - 1 с.
- анализ действующих аналогов схемы, обоснование и расчет эксплуатационно-технических характеристик проектируемой системы с представлением распечатки программы расчета на ЭВМ - 10-11 с.
- выбор и обоснование структурной схемы системы - 3-4 с.

- выбор и обоснование функциональной схемы - 3-5 с.
разрабатываемого устройства
- выбор и обоснование принципиальной схемы устройства и - 10-12 с.
электрический расчет ее элементов
- методика настройки и регулировки - 2-3 с.

6.5.2. Характеристика содержания основных разделов

Титульный лист и задание на курсовой проект выполняется по установленному образцу.

Введение содержит краткую технико-экономическую характеристику выбранного направления, оценку решаемой в работе задачи с точки зрения перспектив развития радиотехнических устройств бортового оборудования. Из содержания введения должна вытекать необходимость решения именно данной задачи.

Раздел первый содержит: краткий анализ системы-аналога с указанием ее недостатков; обоснование основных эксплуатационно-тактических и расчет технических характеристик; оценку предполагаемой эффективности разрабатываемой системы по выбранным критериям.

Следует обратить внимание на необходимость четкого обоснования эксплуатационно-технических характеристик, так как они являются определяющими для принятия последующих решений.

Дальность действия систем следует обосновывать, в частности, с учетом возрастания скоростей полета, обеспечения необходимого времени для принятия решения и совершенствования своевременного маневра.

Важной величиной является выходная мощность шума $P_{ш\text{ вых}}$. Однако для расчета отношения сигнал/шум удобно привести эту мощность ко входу системы, так определив шумовую температуру системы T_c , чтобы она удовлетворяла соотношению

$$KT_c\Delta f_{ш} = P_{ш\text{ вых}} / K_{ус},$$

где K - постоянная Больцмана;

$\Delta f_{ш}$ - шумовая полоса приемо-анализирующего тракта;

$K_{ус}$ – допустимое усиление мощности всего тракта.

Зону обзора по угловым координатам выбирают, исходя из одновременного наблюдения необходимого числа ориентиров для решения задач навигации. Разрешающую способность и точность измерения координат объектов обосновывают в плане задач ориентирования и навигации. Выбор тактических характеристик должен осуществляться в соотношении с требованиями ГОСТ и ARINC-708.

При расчете технических характеристик следует по возможности учитывать влияние всех факторов на ту или иную величину, не упуская из вида удовлетворение техническим требованиям.

При выборе длины волны λ необходимо учитывать влияние таких факторов, как:

- уровень потерь электромагнитной энергии при распространении;
- рекомендации ИКАО;
- допустимые размеры антенны при данной ширине диаграммы направленности;
- обеспечение требуемой формы импульса;
- освоенность промышленностью данного диапазона.

При расчете длительности импульса обязательно учитывать влияние индикатора и исходить из требуемой разрешающей способности по дальности. Реальная разрешающая способность может быть выражена через потенциальную и разрешающую способность индикатора. Скорость обзора по угловой координате должна рассчитываться с учетом ширины диаграммы направленности, полученной частоты повторения импульсов, потребных для увеличения индикации, и времени послесвечения экрана индикатора.

Предъявляя требования к системе по помехозащищенности, не следует ограничиваться указанием на способность ее работать при наличии определенного уровня помех. Необходимо перечислить принятые меры и технические решения, которые обеспечивают требуемый уровень помехоустойчивости системы.

При предъявлении требований по надежности, габаритам и весу системы следует привести числовые величины - такие, как наработка на отказ, межремонтный срок, предельные значения массы и габаритных размеров.

Расчет эксплуатационно-технических характеристик производится с помощью ЭВМ. Результаты расчета представляются в расчетно-пояснительной записке в виде распечатки программы и данных расчета.

Раздел второй посвящается выбору и обоснованию метода построения системы, выбору ее структурной схемы, сравнительной оценке данной системы с аналогом, ее эффективности и созданию условий для использования перспективных методов эксплуатации радиоэлектронного оборудования в гражданской авиации.

В результате анализа возможных вариантов построения системы следует изложить требования к системе, представляемые в форме технического задания.

Раздел третий включает: обоснование выбора структурной или функциональной схемы конкретного устройства (например, почему индикатор ИКО, почему АПЧ двухканальная и следящая, или почему модулятор магнитный, а не другого типа); обоснование типов каскадов и расчет их числа (например, по требуемому коэффициенту обеспечению заданной полосы пропускания в приемном устройстве); выбор и обоснование элементной базы современного уровня (микросхемы, микромодули). Определяются показатели требуемых источников питания и проводится ориентировочный расчет потребляемой мощности в разрабатываемом устройстве.

Раздел четвертый посвящен выбору и обоснованию принципиальной схемы устройства, ее компоновке (согласующие и связующие элементы, фильтры и т.п.) и электрическому расчету ее элементов. Для расчета выбирается законченный электрический узел, включавший 3-8 и более каскадов. Может быть рассчитан целиком один узел или линейка (не более 3-х каскадов), входящие в разрабатываемое устройство. Производится полный электрический расчет элементов принципиальной схемы (выбранных каскадов, узла, линейки) и выбор элементов по типу и номиналу в соответствии с ГОСТ для составления перечня элементов к принципиальной схеме.

В том случае, когда проектирование принципиальной схемы устройства производится на базе интегральных микросхем, необходимо сделать проверочный расчет элементов принципиальной схемы, после чего произвести выбор наиболее подходящих по всем параметрам микросхем и привести обоснование принятого решения.

Для выбора типа резистора он проверяется на величину допустимой мощности рассеивания « $P_{рас}$ ». Допускается приводить расчет на « $P_{рас}$ » первого расчетного резистора. Расчет других резисторов на « $P_{рас}$ » не приводится в записке, но проверка осуществляется. При расчете отдельных каскадов следует приводить их принципиальные расчетные схемы. При выборе и составлении принципиальных электрических схем применяется элементная база, основанная на использовании транзисторов, микромодулей или интегральных схем. Если принципиальная схема строится на типовых узлах - микромодулях или интегральных схемах, то по заданным техническим характеристикам и результатам расчета функциональной схемы следует провести проверочный расчет узлов принципиальной схемы и на основе его осуществить выбор типовых узлов. Обязательно должен быть произведен расчет микромодулей (интегральных схем) на потребляемую мощность.

Следует отметить, что использование в проекте электровакуумных приборов должно быть обосновано и допускается только в случаях, когда никакие другие приборы не могут быть применены.

Раздел пятый содержит краткое изложение условий эксплуатации и вытекающие из них требования к конструкции, внешнему виду устройства, размещению органов управления, настройки и регулировки.

Даются общие соображения по применяемым материалам, видам электрического монтажа технологичности конструкции. Необходимо учесть общие требования к контролепригодности и ремонтпригодности установленные ГОСТ 19152-73 и предусмотреть удобство и приспособленность конструкции устройства к техническому обслуживанию, указать особенности настройки и регулировка спроектированного устройства.

В заключении целесообразно показать, что спроектированная система удовлетворяет заданным требованиям, отметить преимущества разработанного устройства по сравнению с аналогом. Необходимо показать, как влияет улучшение характеристик разработанного устройства на показатели всей системы, отразить достоинства системы с точки зрения повышения надежности и приспособленности к техническому обслуживанию.

Следует подчеркнуть, что вследствие ограниченности объёмов записки все её разделы должны содержать в основном расчётный материал и минимум изложения описательного характера.

В заключении приводятся полная принципиальная схема устройства, перечень элементов к ней и подробный перечень литературы. Курсовая работа подписывается автором после изложения заключения.

6.5.3. Расчет ЭТХ и обоснование структурной схемы РЛС

Одним из основных разделов курсового проекта является раздел, посвящённый расчёту и обоснованию эксплуатационно-технических характеристик разрабатываемой радиолокационной системы. Расчёт этих характеристик требует глубоких теоретических знаний во многих областях радиотехники, осуществляется на этапе разработки РЛС и является в некоторой мере искусством.

Расчёт этих характеристик начинается с определения эксплуатационных параметров и определения факторов, принципиально ограничивающих их величину. Основным из них является назначение радиолокационной системы и место её установки. Эта характеристика во многом определяет все остальные. В курсовом проекте вместе с назначением системы указывается её дальность действия, являющаяся в некоторых случаях избыточной информацией, так как определяется назначением системы. Следует иметь в виду, что дальность задается или определяется как характеристика статистическая, имеющая определённую вероятность правильного обнаружения $P_{по}$ и ложной тревоги $P_{лт}$. Обычно $P_{по}$ в системах ГА задаётся равной 0,9, а вероятность $P_{лт}$ рассчитывается, исходя из возникновения ложной тревоги за определенное количество обзоров пространства.

Следует заметить, что содержание задания на курсовой проект составлено таким образом, чтобы дать возможность гибкого выбора некоторых характеристик РЛС с непременным их обоснованием и расчетом. Так, например, установка бортовой метеонавигационной РЛС в носовой части

самолёта определенного типа ограничивает максимальные размеры антенной системы, что, в свою очередь, сказывается на возможности реализации разрешающей способности РЛС по угловым координатам, на величину эффективной поверхности рассеяния цели, которой может быть, в зависимости от режима работы станции, поверхность земли или объём метеообразования.

Зона действия РЛС также определяется назначением станции. Для бортовой метеонавигационной станции (МНРЛС) зона обзора определяется маневренными возможностями самолета так, чтобы от времени поступления информации об опасных метеообразованиях до момента завершения маневра было достаточное время для его совершения. Для большинства МНРЛС, установленных в носовой части самолета, сектор азимутального обзора не превышает $\pm 100^\circ$.

Количество воспроизводимых РЛС координат и их точность определяется также назначением станции и должны быть обоснованы при проектировании, причем возможность реализации точностных характеристик должна быть увязана с энергетическим потенциалом станции, оценка которого может быть осуществлена в процессе расчета технических характеристик. Таким образом, в ходе проектирования очевидна необходимость возвращения к проверке данных, ранее уже определённых.

При определении эксплуатационных характеристик метеонавигационной РЛС в основу обоснования разрешающей способности следует заложить качество воспроизводимого изображения. Хорошим естественным ориентиром для навигации являются большие реки, поэтому разрешающей способностью можно задаться, исходя из необходимости раздельного наблюдения берегов рек либо каких-то других ориентиров. При определении разрешающей способности необходимо сразу выбрать тип индикаторного устройства в соответствии с требуемой разрешающей способностью и возможностью размещения индикатора на борту.

Скорость обзора заданной зоны, $T_{обз}$, зависит от требуемого количества накапливаемых импульсов и свойств индикатора и может корректироваться в процессе расчёта потенциала станции.

К эксплуатационным характеристикам относятся надежность РЛС и ее параметры, а также ее габариты и вес.

При расчете технических характеристик особые трудности вызывает определение оптимальной длины волны радиолокатора. Оптимальную длину волны следует определять для заданной дальности с учетом затухания волны в атмосфере. При заданных значениях величин, входящих в основное управление радиолокации, энергия колебаний, излучаемых за время длительности импульса, является функцией длины волны.

$$P_{\dot{E}} = K_1 \cdot \frac{\lambda^2}{10^{K_2 \cdot \alpha_{\dot{E}i\zeta}(\lambda)}}$$

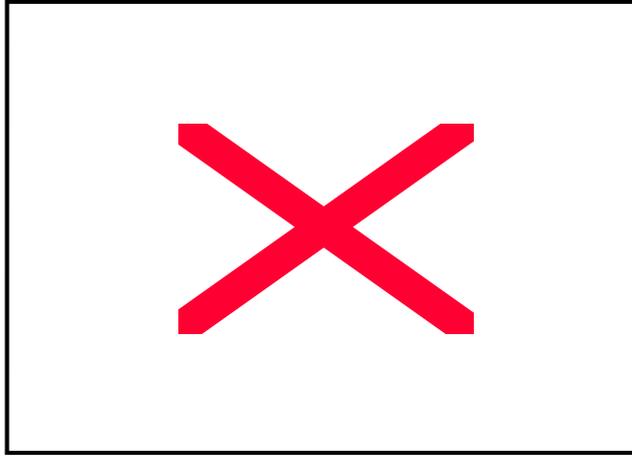


Рис.1. Зависимость изменения энергии передатчика от длины волны в дожде с интенсивностью 4 мм/ч

На рис.1 приведены графики, иллюстрирующие изменение энергии передатчика в зависимости от длины волны для затухания волны в дожде интенсивностью 4 мм/ч. Параметром кривых является дальность. Если требуемая в проекте дальность не соответствует приведенному в графике ряду или интенсивность осадков не равна используемой для построения графиков рис.1, то расчет оптимальной длины волны производится студентом самостоятельно.

На выбор длины волны влияет также необходимость обеспечения выбранной разрешающей способности станции по угловым координатам, в которой ширина диаграммы направленности при ограниченной апертуре антенны может быть уменьшена только уменьшением длины волны.

При окончательном выборе длины волны ее величину следует определять из освоенного ряда волноводных устройств, исходя из того, что этот ряд дискретен.

Большое значение для работы станции имеет тип используемого сигнала, вид модуляции и ее параметры, обеспечение разрешающей способности, точности и однозначности отсчета.

Чувствительность приёмника должна быть наивысшей, которую возможно обеспечить на данном этапе развития электронной техники и данных условиях эксплуатации РЛС. Это требование исходит из того, что, в свою очередь, позволяет уменьшить габариты и вес радиолокатора в целом.

Метод обзора пространства так же, как скорость обзора, определяет количество накапливаемых импульсов в приемнике, т.е. количество импульсов в пачке.

Необходимо отметить, что требуемая разрешающая способность станции на масштабе ЭЛТ, соответствующем максимальной дальности, не всегда может быть обеспечена приемлемыми размерами трубки. Поэтому весь диапазон просматриваемых дальностей может быть разбит на поддиапазоны, в части из которых разрешающая способность может быть обеспечена на заданном уровне.

В настоящее время наметилась тенденция цифровой обработки радиолокационной информации и совмещение радиолокационного изображения с индикаторами других радиолокационных и навигационных

устройств и других систем самолета. При этом радиолокационная информация поступает вначале в бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ) и после ее преобразования в систему визуального отображения. Таким образом, потребителем информации может быть как человек, так и вычислительная машина.

При расчете потенциала станции импульсная и средняя мощность рассчитывается в последнюю очередь и при получении ее чрезмерно большой величины весь расчет следует повторить сначала, задавшись новыми исходными данными. При этом вариации можно подвергнуть длительность импульса, ширину ДНА, а, следовательно, ЭПР облучаемой цели, количество накапливаемых импульсов и другие параметры станции, определяющие потенциал.

Методика расчета эксплуатационно-технических характеристик ответчика аналогична изложенной выше, однако, имеет некоторые особенности, заключающиеся в том, что параметры одного из каналов системы вторичной радиолокации определены выбором наземной её части. Например, если предполагается работа ответчика в режиме «УВД» с диспетчерским радиолокатором, то энергетический потенциал канала ответчик-запросчик должен быть равен потенциалу запросчик-ответчик. Несмотря на то, что многие параметры канала запросчик-ответчик определены ГОСТами и требованиями IGAO, при проектировании необходимо произвести проверочный расчет этого канала на оптимальную длину волны, разрешающую способность, энергетический потенциал и другие его параметры. Канал ответчика рассчитывается полностью, а параметры сигнала ответчика выбираются в соответствии с принятой в режимах «УВД» и «RBS» структурой координатных и информационных кодов.

В заключение отметим, что сложность расчета ЭТХ радиолокационных систем и зачастую многократный их пересчет приводит к необходимости использования ЭВМ для этой цели. Программа расчета может быть составлена на любом языке программирования для ЭВМ, имеющейся в распоряжении проектанта. Распечатку программы и результатов расчета следует поместить в данный раздел проекта с комментариями и выводами.

Расчет эксплуатационно-технических характеристик и методы, определяющие возможность выделения радиолокационной информации, позволяют представлять структурную схему радиолокационной системы. В проекте должно быть изложено обоснование выбора этой схемы, причем разрабатываемый в дальнейшем блок или узел станции следует раскрыть более подробно, рассчитать его входные и выходные параметры. Обоснование использования отдельных блоков схемы должно быть конкретным в соответствии с расчетом ЭТХ и задачами, выполняемыми станцией. Так, например, при требуемой импульсной мощности РЛС более десятков киловатт в генераторе СВЧ должны использоваться мощные электронные приборы (магнетрон, платинотрон, пролетный клистрон, ЛПД и т.п.), что и следует

отразить на структурной схеме. Или необходимость использования системы АПЧ должна быть доказана прикидочным расчетом нестабильности частоты ГСВЧ, гетеродина и доплеровских частот принимаемых сигналов. Таким же образом следует обосновать использование наиболее важных элементов структурной схемы. Структурная схема должна быть представлена в пояснительной записке курсового проекта и вычерчена в соответствии с требованиями ЕСКД.

6.5.4. Разработка и обоснование функциональной схемы

После выбора структурной схемы устройства, изучения и осмысления принципа его действия, определения характеристик необходимо произвести построение функциональной схемы детально разрабатываемого узла или блока.

При этом необходимо иметь в виду, что исходные данные, параметры входных и выходных сигналов должны вытекать из расчетов, проводимых в предыдущем разделе. Разработка функциональной схемы должна быть произведена оптимальным образом. Критерием последнего является минимальное количество каскадов, применение современной элементной базы и схемотехнических решений самостоятельность в решении инженерных задач.

Рекомендуется следующая последовательность действий на рассматриваемом этапе:

- 1) Исходя из функционального назначения проектируемого узла (блока, тракта), определяются требования к отдельным элементам устройства, характеристики и параметры входных и выходных сигналов.
- 2) Составляется функциональная схема устройства.
- 3) Определяются временные характеристики работы устройства и составляются временные диаграммы работы.

6.5.5 Расчет принципиальной схемы

После определения исходных данных для расчета построения функциональной схемы устройства предлагается следующая последовательность действий:

- 1) Определяется элементная база проектируемого устройства.
- 2) Выбираются электрические схемы каскадов.
- 3) Проводится электрический расчет элементов схемы.
- 4) Составляется полная электрическая принципиальная схема детально разрабатываемого узла совместно со спецификацией элементов.

6.5.6. Методика настройки и регулировки

В процессе изготовления радиолокационной аппаратуры и ее эксплуатации необходимо производить настройку и регулировку ее отдельных узлов. Эти

виды работы могут определяться регламентом и технологией технического обслуживания, выполнением дополнительных работ по устранению отказов и неисправностей, выявленных в полете и в процессе обслуживания РЛС, в процессе работ, осуществляемых на авиаремонтных заводах.

Разрабатываемое в курсовом проекте устройство после его изготовления должно подвергаться настройке и регулировке. Технологический процесс этих операций должен быть изложен в данном разделе проекта. Для этого прежде всего следует выявить и обосновать перечень параметров, требующих регулировки и настройки, определить разброс их величин, не приводящий к потере работоспособности изделия в целом.

Далее следует продумать и описать структурную схему стенда регулировки и настройки, выделить на принципиальной схеме разрабатываемого узла точки подключения устройств формирования испытательных сигналов и измерительных приборов, предусмотреть в конструкции этого узла соответствующие элементы подключения приборов, отобразив их на принципиальной схеме.

В принципиальную схему разрабатываемого устройства должны быть введены элементы, с помощью которых осуществляется настройка и регулировка с расчетом и обоснованием пределов изменения величины этих элементов.

Особое внимание следует уделить выбору типа и марки приборов. Эксплуатационные характеристики приборов должны обеспечивать выполнение намеченных операций и удовлетворять требованиям современного уровня развития аппаратуры. Например, для регулировки и настройки амплитудно-частотной характеристики узла нельзя использовать технологию снятия ее по точкам с помощью генератора стандартных сигналов и лампового вольтметра, а следует воспользоваться измерителем частотных характеристик так, чтобы непосредственно наблюдать трансформацию АЧХ при настройке. При подборе приборов необходимо учитывать их точностные характеристики, пределы измерений и возможность обеспечения заданных величин стимулирующих сигналов, таких как диапазон генерируемых частот, уровень глубины модуляции, девиация частоты и другие. Кроме того, следует учесть влияние прибора на процесс настройки и регулировки при подключении его к схеме, обусловленное конечной величиной его входного и выходного сопротивления.

После выбора типа прибора следует нарисовать структурную схему макета экспериментальной установки, указав все связи аппаратуры и настраиваемого узла.

В заключение данного раздела должна быть изложена подробная технология настройки и регулировки изделия по пунктам, в которой должны быть отражены ее ожидаемые результаты. Здесь же следует предложить соответствующие таблицы для занесения результатов измерений и построить графики эталонных характеристик параметров измерений.

СОДЕРЖАНИЕ

I.	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
II.	ЛИТЕРАТУРА.....	4
III.	ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	6
IV.	СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
	4.1. Общие сведения о РЛС ВС.....	7
	4.2. Особенности работы бортовых радиолокаторов при решении различных тактических задач.....	8
	4.3. Обобщенная структурная схема бортового радиолокатора. Основные характеристики.....	9
	4.4. Влияние кренов самолета на работу бортового радиолокатора. Методы стабилизации зоны обзора.....	11
	4.5. Особенности передающих устройств бортовых радиолокаторов....	12
	4.6. Особенности антенных устройств бортовых радиолокаторов.....	13
	4.7. Особенности приемных устройств бортовых радиолокаторов.....	14
	4.8. Особенности устройства АПЧ бортовых радиолокаторов.....	16
	4.9. Цифровые устройства приема и обработки радиолокационной информации.....	17
	4.10. Особенности индикаторов и схем развертки.....	17
	4.11. Синхронизаторов бортовых радиолокаторов.....	19
	4.12. Системы встроенного контроля бортовых радиолокаторов.....	20
	4.13. Перспективы развития бортовых РЛС.....	21
	4.14. Самолетные радиолокационные ответчики.....	22
	4.15. Общие сведения о наземных РЛС ГА.....	24
	4.16. Заключение.....	24
V.	КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ.....	25
VI.	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ.....	31
	6.1. Общая характеристика КП.....	31
	6.2. Пояснительная записка.....	32
	6.3. Графическая часть.....	32
	6.4. Задание на КП.....	33
	6.5. Структура КП.....	36
	6.5.1. Типовая структура КП и характеристика основных разделов.....	36
	6.5.2. Характеристика содержания основных разделов.....	37
	6.5.3. Расчет ЭТХ и обоснование структурной схемы РЛС.....	40
	6.5.4. Разработка и обоснование функциональной схемы.....	44
	6.5.5. Расчет принципиальной схемы.....	44
	6.5.6. Методика настройки и регулировки.....	44

Редактор Е.А. Колотушкина

Подписано в печать 27.09.02 г.

Печать офсетная
2,79 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 829/

3,0 уч.-изд. л.
Тираж 370 экз.

Московский государственный технический университет ГА

125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20

Редакционно-издательский отдел

125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2002