

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

Л. И. Калакутский

СХЕМОТЕХНИКА
ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Учебное пособие

Схемотехника приемных устройств радиотехнических систем летательных аппаратов. Учеб. пособие / Л. И. К а л а к у т-ский; Самар. авиац. ин-т, Самара, 1992. 146 с.
ISBN 5—230—16923—0.

Рассматриваются вопросы схемотехники приемников радиотехнических систем летательных аппаратов; определяются требования к построению приемников и выбору основных электрических параметров, обусловленные условиями эксплуатации, а также обеспечением электромагнитной совместимости приемников в системе бортового электрорадиооборудования; проводится описание структурных и принципиальных схем приемных устройств систем радиолокации, навигации и связи летательных аппаратов.

Предназначено для студентов специальностей 23.01 и 23.03, изучающих курсы устройств приема и аналоговой обработки сигналов и схемотехники радиоприемников авиационных средств. Подготовлено на кафедре «Радиотехнические устройства».

Табл. 8. Ил. 41. Библиогр.: 31 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института им. академика С. П. Королева

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. А. И. Тя ж е в,
канд. техн. наук, доц. Н. Я. Я н ц е в

Развитие современной радиоэлектроники оказывает непосредственное влияние на совершенствование авиационной и космической техники. В условиях повышения интенсивности движения ЛА, роста высоты, дальности и скорости полета радиотехнические системы (РТС), включающие как бортовые, так и наземные средства, позволяют решать такие задачи, как определение места положения и скорости ЛА, связи с пунктами управления движением и передачи данных, обнаружение опасных препятствий и гидрометеорологических образований, предотвращение столкновения ЛА в воздухе, выполнение посадки в сложных метеоусловиях.

Важными звеньями радиотехнических систем, выполняющими функции первичного преобразования информации, являются устройства приема и аналоговой обработки сигналов. Многообразие задач, решаемых РТС, необычайная ширина диапазона используемых колебаний (от субмиллиметровых до мирнаметровых волн), различие принципов получения необходимой информации накладывают определенный отпечаток на построение приемников РТС ЛА. Вместе с тем повышенные требования чувствительности, помехоустойчивости, надежности, устойчивости к механическим и климатическим воздействиям определяют общие черты в построении приемников ЛА и обеспечении требуемых электрических параметров. Данные факторы влияют на схмотехническое построение приемников, которое является важным моментом в проектировании радиоэлектронных средств ЛА.

В соответствии с общими принципами построения радиотехнических систем ЛА в пособии будут рассмотрены структурное и схмотехническое построение приемников систем радиолокации, навигации и связи, приведены основные требования к электрическим параметрам и технические характеристики приемников бортовых и наземных радиолокаторов, самолетных ответчиков, радиовысотомеров, дальномеров, навигационных систем, систем радиосвязи ЛА.

В заключение даны основные тенденции развития приемных устройств РТС ЛА.

- АДН — автоматическая дистанционная настройка
АМ — амплитудная модуляция
АП — антенный переключатель
АПЧ — автоматическая подстройка частоты
АРК — автоматический радиокомпас
АРУ — автоматическая регулировка усиления
АРУШ — автоматическая регулировка усиления по шуму
АСУ — антенно-согласующее устройство
АФС — антенно-фидерная система
ВАРУ — временная автоматическая регулировка усиления
ВРЛ — вторичный радиолокатор
ВЦ — входная цепь
ГА — гражданская авиация
ГКМВ — гектометрические волны
ГПД — генератор плавного диапазона
ГРП — глассадный радиоприемник
ДИСС — доплеровский измеритель скорости сноса
ДКМВ — декаметровые волны
ДМВ — дециметровые волны
ИКАО — международная организация гражданской авиации
ИМС — интегральная микросхема
ИСЗ — искусственный спутник Земли
КРП — курсовой радиоприемник
ЛА — летательный аппарат
ЛБВ — лампа бегущей волны
МАРУ — мгновенная автоматическая регулировка усиления
МВ — метровые волны
ММВ — миллиметровые волны
МНРЛ — метеонавигационный радиолокатор
МЭП — матрица электронной перестройки
ОМ — однополосная модуляция
ОРЛ — обзорный радиолокатор
ПДУ — пульт дистанционного управления
ПРЛ — посадочный радиолокатор
ПУПЧ — предварительный усилитель промежуточной частоты
ПШ — подавитель шума
РЗП — разрядник защиты приемника
РВ — радиовысотомер
РЛ — радиолокатор
РСБН — радиосистема ближней навигации
РТС — радиотехническая система
СВЧ — сверхвысокие частоты
СМВ — сантиметровые волны
СО — самолетный ответчик
УВД — служба управления воздушным движением
УКВ — ультракороткие волны (обычно, диапазон МВ)
УНЧ — усилитель низкой частоты
УПТ — усилитель постоянного тока
УПЧ — усилитель промежуточной частоты
УРЧ — усилитель радиочастоты
ФВЧ — фильтр верхних частот

ФМ — фазовая модуляция
ФНЧ — фильтр нижних частот
ФСС — фильтр сосредоточенной
 селекции
ЧМ — частотная модуляция

ЧХ — частотная характеристика
ЭЛТ — электронно-лучевая трубка
ЭМС — электромагнитная совме-
 стимость

1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ РТС ЛА

1.1. ПРИЕМНИКИ ДАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

РТС дальней навигации служат для определения местоположения ЛА на расстояниях более нескольких тысяч километров от опорных передающих станций. Характерной особенностью таких систем является выбор для наземных опорных станций диапазона излучения в области километровых и дециметровых волн. Для спутниковых систем навигации выделен участок дециметрового диапазона (20...25 см).

Фазовая разностно-дальномерная система «Омега» работает на несущих частотах в диапазоне от 10 до 14 кГц. Принцип действия системы основан на определении дальности опорных станций по измерению фазовых сдвигов сигналов, принимаемых на борту ЛА. Каждая из опорных наземных станций последовательно излучает точно синхронизированную основную частоту и три вспомогательных (например, станция А 10,2 кГц и 13,6 кГц; 11,33 кГц; 11,05 кГц), длительность сигнала каждой частоты около 1 с [20].

Выбранный формат сигналов позволяет строить узкополосные помехоустойчивые приемники высокой чувствительности по схеме прямого усиления. Использование супергетеродинной схемы нецелесообразно из-за наличия источника дополнительных фазовых сдвигов гетеродина, которые могут привести к снижению точности системы. Приемные устройства системы «Омега» выполняются многоканальными с фиксированной настройкой на каждую частоту излучения опорных станций.

Чувствительность приемного тракта составляет 0,1 мкВ, при соотношении сигнал/шум, равном 20 дБ, полоса пропускания канала составляет 100 Гц, избирательность по соседнему каналу — 80 дБ.

Импульсно-фазовая разностно-дальномерная система «Лоран-С» работает на одной несущей частоте 100 кГц. Опорные станции системы излучают синхронизированные пакеты импульсов

с длительностью 7 или 9 мс, длительность импульсов в пачке выбрана равной 135 мкс (по уровню 0,5), частота повторения импульсов в пачке равна 1 кГц, частота повторения пачек составляет порядка десятков Гц и несет информацию опознавания опорной станции. Формат используемых сигналов обеспечивает содержание 90% энергии в полосе частот 90...110 кГц. Приемное устройство системы выполнено по схеме прямого усиления с микропроцессорным управлением диаграммой направленности антенны и АРУ. Чувствительность приемного тракта 0,2 мкВ, полоса пропускания 30 кГц.

Спутниковая дальномерная система «Навстар» содержит опорные станции, расположенные на 18 навигационных ИСЗ и ведущие излучение на частотах 1575 МГц (основная) и 1228 МГц (дополнительная) [11]. Дальность определяется корреляционным методом по передаваемому непрерывному кодированному по фазе сигналу. Для определения местоположения с различной точностью используют два навигационных кода (стандартный и точный), представляющих собой псевдослучайные последовательности, которыми модулируются по фазе несущие колебания. Оба кода могут передаваться одновременно, и для их разделения в приемнике используют ортогональную фазовую модуляцию. Использование дополнительной частоты излучения позволяет уменьшить ошибки, возникающие вследствие ионосферной рефракции.

Стандартный код имеет длительность элемента 1 мкс, тактовую частоту 1,023 МГц, частоту повторения кода 1 мс; точный код имеет длительность элемента 0,1 мкс, тактовую частоту 10,23 МГц.

Определение длительности в системе производится по измерению задержки принимаемого кода относительно кода, формируемого в бортовой аппаратуре, а определение скорости — по измерению доплеровского смещения частоты принимаемого сигнала относительно частоты местного опорного генератора.

Использование микропроцессоров позволяет упростить аппаратную часть бортового оборудования за счет усложнения программной части. Приемник системы выполнен одноканальным с мультиплексированием сигналов четырех спутников и запоминанием данных для обработки.

Использование высокопроизводительных средств цифровой техники позволяет производить выборки сигналов за 20 мс (по 2,5 мс на каждую частоту одного спутника), т. е. практически непрерывно вести слежение за навигационными параметрами.

Приемник-процессор бортового оборудования системы выполняет операции по усилению принимаемых сигналов, извлечению и переработке информации. Аналоговая часть приемника выполнена по супергетеродинной схеме с двойным преобразова-

нием частоты. Управление приемником — настройка антенны, АРУ, селекция принимаемых частот, синтез частот для преобразования сигналов на промежуточную частоту — осуществляется с помощью процессора, что существенно повышает качественные показатели приема. Коэффициент шума приемника 4,5 дБ, чувствительность 160 дБ · Вт.

1.2. ПРИЕМНИКИ БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ И ПОСАДКИ ЛА

РТС ближней навигации дают информацию о местоположении ЛА в пространстве на расстояниях в пределах прямой видимости от наземных пунктов. Получение на борту ЛА информации об отклонениях от заданной траектории захода на посадку и о дальности до точки приземления обеспечивают радиомаячные системы посадки ЛА. К системам ближней навигации относят азимутально-дальномерную систему РСБН, основанную на временном методе определения азимута и дальности. Система работает в диапазоне дециметровых волн (770...1000 МГц). Наземный радиомаяк формирует ряд сигналов, принимаемых бортовой аппаратурой [21].

По каналу определения азимута принимаются опорные кодовые группы (несущая 873,6...935,2 МГц), следующие с частотой около 60 Гц и состоящие из импульсов длительностью 6 мкс с периодом следования от 18 до 88 мкс, и азимутный сигнал в виде двухимпульсных групп, состоящих из колоколообразных импульсов длительностью около 6 мс, отстоящих друг от друга на 8 мс, следующих с частотой 1,66 Гц. Формирование азимутного сигнала происходит с помощью вращения диаграммы направленности антенны радиомаяка таким образом, что временное положение опорных сигналов относительно азимутальных дает информацию об азимуте ЛА.

По каналу дальности на одной частоте (772...812,8 МГц) с борта ЛА посылается запросная кодовая группа, которая после декодирования формирует ответный сигнал радиомаяка на другой частоте (939,6...1000,5 МГц). Информация о дальности содержится в интервале времени запаздывания ответных сигналов относительно импульсов запроса. Сигналы, принимаемые на борту ЛА, имеют вид кодовых групп, состоящих из нескольких прямоугольных импульсов длительностью 1,5 мкс, с периодом следования от 6 до 20 мкс и следующих с частотой 30 Гц.

Используемый формат сигналов определяет структуру приемных устройств РСБН. Это двухканальный супергетеродинный приемник с двойным преобразованием частоты. Тракт первой промежуточной частоты выполнен широкополосным с полосой

пропускания $8 \pm 0,5$ МГц. После второго преобразования сигналы разделяются на узкополосный тракт с полосой 350 ± 50 кГц (азимутальный канал) и широкополосный с полосой $1,2 + 0,2$ МГц (дальномерный канал).

На зарубежных линиях гражданской авиации (ГА) в соответствии со стандартом ИКАО используется навигационная система *VOR/DME*. Дальномерное устройство системы построено на том же принципе измерения дальности и содержит в бортовом оборудовании отдельный прибор — самолетный дальномер (например СД-75). Формат принимаемых сигналов несколько изменен, это двухимпульсная группа с несущей в диапазоне 962...1213 МГц, состоящая из импульсов длительностью 3,5 мкс (по уровню 0,5) с фронтом и срезом 2,5 мкс, период следования импульсов (кодированный интервал) 12...20 мкс, частота следования групп 2700 ± 90 Гц. Соответственно приемник дальномера оказывается более узкополосным (350...500 кГц) и выполняется по схеме с двойным преобразованием частоты с кварцевой стабилизацией частоты приема, где для формирования колебаний первого гетеродина используется сигнал передатчика. Смена частот дальномера сопровождается перестройкой преселектора и цепей первого гетеродина.

К средствам ближней навигации относится также автоматический радиокомпас (АРК), обеспечивающий полет на выбранную радиостанцию или от нее с автоматическим определением и индикацией курсового угла радиостанции (пеленга). АРК работают в диапазоне гектометровых и километровых волн. Принцип действия АРК основан на анализе сигналов, принятых направленной и ненаправленной антеннами. При сложении этих сигналов глубина возникающей амплитудной модуляции пропорциональна углу отклонения плоскости рамки антенны от направления на радиостанцию, а фаза огибающей определяет знак этого отклонения.

Таким образом, АРК представляет собой узкополосный приемник сигналов наземных АМ радиостанций с рамочной (направленной) и ненаправленной (например, штыревой) антеннами. Приемное устройство АРК выполняет по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты. Наличие значительного уровня помех и мешающих станций в используемом диапазоне частот требует усложнения преселектора приемника, который выполняется в виде переключаемых модулей высокой частоты. Приемник имеет пять поддиапазонов, на каждом из которых включается свой модуль. Внутри поддиапазона осуществляется электронная перестройка фильтров преселектора по напряжению, формируемому в зависимости от частоты приема, устанавливаемой на пульте управления АРК. Стабильность

Основные параметры лрсмных устройств радионавигационных средств ЛА

Параметры характери- стики	Ед. изм.	РСБН-7	СД-75	АРК-15	Ось-1			Курс МП-70	
					КРП	ГРП	МРП	КРП	ГРП / РМП
Рабочая частота	МГц	873,6...935(А) 939,6... ...1000,5(Д)	962...1213	0,15...1,8	108,1...111,9	329,3...335	75	108,1... ...111,9	329,3... ...335
Число рабочих каналов	ед.	88	252	шаг сетки частот 500 Гц	20	20	1	20	20
Чувствительность	дБ/Вт мкВ	—110	—120	5(с/ш 6дБ)	10	20	150	5	10
Избирательность по соседнему каналу	дБ	40(А) × ×(±0,7 МГц) 45(Д) × ×(±2,8 МГц)	50(±0,8 МГц)	60	60 (±40 кГц)	60 (±300 кГц)	60	75	70
Избирательность по зеркальному каналу	дБ	45	60	68	80	60		75	70
Промежуточная частота	МГц		63(1)11,3(11)	0,5	29,575... ...30,375(1) 4,725(11) 0,5(111)	55, 55,3(1) 6,3(11)	6,3	18,5(1) 2(11)	18,5
Полоса пропускания	кГц	350±0,05(А) 1200±0,2(Д)	350...500	2,75	80	150	100	40	150
Эффективность АРУ	дБ/дБ	55		74/6	80/1,5	74/1,5	36/1,5	66/1	60/1
Относительная нестабильность гетеродина	отн. ед.			5·10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	3,5·10 ⁻⁵	3,5·10 ⁻⁵ ·10 ⁻⁵

частоты приема обеспечивается использованием для формирования гетеродинирующего колебания синтезатора частоты с шагом сетки 100 Гц. Основные характеристики автоматического радиоконкомплекса АРК-15 приведены в табл. 1.

Радиомаячная система посадки СП-50, широко используемая в ГА, работает в диапазоне метровых волн. Наземные радиомаяки излучают колебания с определенной диаграммой направленности, прием и обработка которых на борту ЛА дает информативные параметры об отклонении ЛА от заданной посадочной траектории в горизонтальной (канал курса) и вертикальной (канал глиссады) плоскостях. Маркерный канал системы необходим для индикации на борту ЛА моментов пролета определенных точек, удаленных на заданное расстояние от точки приземления.

Сигнал, принимаемый от курсового радиомаяка, складывается из излучения несущей с широкой диаграммой направленности в плоскости курса и излучения балансно-модулированной несущей с диаграммой направленности, имеющей острый минимум по линии курса, которая совпадает с осью взлетно-посадочной полосы. Частота модуляции 60 Гц, отличается на 180° справа и слева от линии курса. Опорный сигнал передается с помощью поднесущей частоты 10 кГц, частотно модулированной опорным колебанием 60 Гц; поднесущая модулирует по амплитуде несущую излучения с широкой диаграммой направленности. Таким образом, сигнал, принимаемый курсовым приемником (КРП), складывается амплитудно модулированными. Глубина модуляции зависит от углового положения ЛА относительно линии курса, а фаза огибающей — от стороны отклонения. На линии курса глубина модуляции равна нулю.

Сигнал, принимаемый от глиссадного радиомаяка, складывается из двух излучений с пересекающимися диаграммами направленности, одно из которых балансно-модулировано колебанием с частотой $F_1 = 45$ Гц, другое — колебанием с частотой $F_2 = 75$ Гц. Линия глиссады расположена по линии пересечения диаграмм направленности в вертикальной плоскости; при прохождении ЛА на этой линии глубины модуляции F_1 и F_2 равны, и вычитание амплитуд огибающих дает нуль. При отклонении положения ЛА от глиссады вверх колебания с частотой F_2 имеют большую, чем F_1 , амплитуду, вниз — колебания с частотой F_1 превышают по амплитуде колебания с частотой F_2 . Эти данные используются для формирования управляющих сигналов в системе управления полетом ЛА.

Маркерный радиомаяк излучает амплитудно-модулированные колебания, манипулированные кодом для опознавания

маяка. Частота модуляции от 400 до 3000 Гц, код имеет вид набора точек и тире.

Приемные устройства системы посадки высокоскоростных тяжелых самолетов должны обладать высокой надежностью и помехоустойчивостью, т. к. в условиях ограниченной видимости (метеоминимума) наиболее сложный участок полета — приземление — происходит автоматически по приборам системы посадки. В зависимости от типа ЛА и допустимого для него класса метеоминимума формируются требования к приемникам по чувствительности, избирательности, частотной точности. Так, система «Ось-1» используется для самолетов ГА со 2-м классом метеоминимума, а «Курс МП-70» — для 3-го класса, являющегося более жестким. Чувствительность, избирательность и частотная точность для приемников второй системы выбраны выше (см. табл. 1). Конструктивно приемники каждого канала выполняются в виде комплекта моноблоков с резервированием. Структурные схемы приемников всех каналов — супергетеродинного типа, часто с многократным преобразованием частоты. Это связано с реализацией требований перестройки по диапазону (КРП, ГРП), высокими значениями избирательности по соседнему и дополнительным каналам приема (см. табл. 1). При описанных выше параметрах модуляции сигналы на входе приемников достаточно узкополосны, однако допустимая в системе нестабильность частоты радиомаяков (до $5 \cdot 10^{-5}$) вызывает необходимость значительного расширения полосы приемников относительно спектра сигнала и делает нецелесообразным усложнение приемника за счет увеличения стабильности частоты гетеродина. Такое построение приемников оправдано, так как системы посадки работают на небольших дальностях (не более 50 км) с жестким частотным расписанием относительно других радиосредств.

1.3. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ ЛА

Бортовые и аэродромные системы радиотехнического обеспечения полетов ЛА включают различные радиолокационные средства, необходимые для получения информации об удаленных объектах путем приема и обработки отраженных от этих объектов (или переотраженных при активной радиолокации) электромагнитных колебаний. Радиолокаторы (РЛ) выполняют задачи измерения координат ЛА, высоты полета, путевой скорости, обнаружения препятствий и метеообразований по трассе полета, обзора земной поверхности. Наземные радиолокаторы

являются основными источниками информации о воздушной обстановке в системе УВД, позволяющими не только определять навигационные параметры полета ЛА, но и совместно с бортовыми ответчиками получать данные, включающие бортовой номер ЛА, высоту полета, остаток топлива на борту.

К бортовым средствам радиолокации относятся метеонавигационные РЛ (МНРЛ), дальномеры, высотомеры, самолетные ответчики систем активной радиолокации. Работу системы УВД на земле обеспечивают трассовые обзорные РЛ (ОРЛ-Т), аэродромные обзорные (ОРЛ-А), вторичные (ВРЛ), посадочные (ПРЛ), обзорные РЛ летного поля (ОРЛ).

Приемники РЛ строятся по супергетеродинной схеме с однократным, реже двукратным преобразованием частоты. Основное усиление сигналов и частотная избирательность реализуются на промежуточной частоте, выбираемой во много раз ниже частоты принимаемого сигнала. УПЧ приемников РЛ относятся к широкополосным, поэтому избирательные системы достаточно просто реализуются с помощью LC-контуров, а современные усилительные элементы (гибридные и полупроводниковые ИМС, транзисторы) позволяют получить требуемое усиление при ограниченном числе каскадов.

Основные электрические параметры и характеристики приемников зависят от назначения РЛ, решаемых задач, допустимых ошибок в определении навигационных данных. Можно выделить две большие группы приемников: для обнаружения объектов в дальней зоне действия РЛ (МНРЛ, ОРЛ-Т, ОРЛ-А) и для точного определения координат объектов (ПРЛ, ОРЛ) [16, 24].

Приемники РЛ работают на фиксированных частотах в диапазонах ММВ, СМВ, ДМВ, выделяемых в соответствии с распределением частот между различными системами радиотехнического обеспечения полетов (табл. 2). Для работы бортовых приемников МНРЛ выделена частота около 10 ГГц (3-сантиметровый диапазон). Этот диапазон наиболее целесообразен при построении МНРЛ, так как с увеличением частоты возрастают потери электромагнитной энергии при распространении в тропосфере, а при уменьшении частоты увеличиваются размеры антенны, требуемые для обеспечения заданных точностных параметров РЛ. Приемники обнаружения наземных РЛ с большой дальностью действия (ОРЛ) работают в диапазоне ДЦМ-волн, что позволяет минимизировать энергию излучения передатчика и увеличивать дальность приема в условиях тумана, дождя. Для ОРЛ, работающих в ближней зоне, например в РЛ обзора летного поля, где требуется высокая разрешающая

Основные параметры и характеристики приемных устройств РЛ средств ЛА

Параметры характеристики	Единицы измерен.	«Гроза»	«Гради- ент»	«Контур»	РП—3Г	Корень АС	СО72М	Скала М	Обзор-1	ДРЛ-7С
Назначение	—	МНРЛ 9370	МНРЛ 9370	МНРЛ 9370	ПРЛ	ВРЛ	ВРЛ	ОРЛ-Т	ОРЛ	ОРЛ-А
Рабочая частота	МГц				9250...	1090	1030-А	1243...	36800	2800
Длительность импульсов	мс	3,5	2,5	2	0,45	0,454	837,5-Б 0,83	1269 3,3	0,05	1; 2
Частота повторе- ния импульсов	Гц	400	200	100	2000	150...500	150...500	300...	6500	500...1000
Чувствительность	дБ-Вт	—130 ¹	—	—135 ¹	—	—120 ¹	—104-А	—2140	—105 ⁵	—136 ¹
Коэффициент шума	дБ	—	—	—	12	9,5	—65-Б	4,8	30	6...9
Полоса пропус- кания	МГц	1,8...2,0	0,6		3,2	9,5	7,5...10	0,6	30	
Промежуточная частота	МГц	30	30		50	60	96, 25	35	60	30
АРУ, динамичес- кий диапазон	дБ/дБ	ВАРУ, МАРУ	ВАРУ, МАРУ	АРУШ ВАРУ МАРУ	ВАРУ	МАРУ, ВАРУ, 70/7	МАРУ	АРУШ, МАРУ, ВАРУ	МАРУ, ВАРУ	ВАРУ
Импульсная мощ- ность передатчика	кВт	9	20	4	120...160	15	0,3...0,8	3600	24	230
Дальность действия	км	200 ²	200 ² 500 ²	190 ²	20	450	450	400 ⁶	8	70 ⁶
Место располо- жения		Б	Б	Б	Н	Н	Б	Н	Н	Н
Поддавление зер- кального канала	дБ						60	60		

Примечание: Б — борт ЛА; Н — наземный комплекс УВД; 1 — по пропаданию сигнала в шумах; 2 — для зон газовой деятельности; 3 — кодовая группа запроса ($t_{\text{ф}}=0,05...0,1$ мкс $t_{\text{ср}}=0,05...0,2$ мкс) из 3-х им-пульсов с расстройением 2 мкс и длительностью 9...19 мкс; 4 — кодовая группа ответа ЛА включает 15-разрядный код с периодом следования импульсов 4 мкс; 5 — при соотношении сигнал/шум равном 2; 6 — в зависимости от высоты полета ЛА.

способность, используется длинноволновая часть миллиметрового диапазона.

Чувствительность приемников РЛ задается как величина минимального сигнала, при котором сигнал на выходе линейного тракта приемника достигает заданного значения при требуемом отношении сигнал/шум. Это отношение (коэффициент различимости) обычно выбирают равным 3—10 в зависимости от заданной точности воспроизведения сигнала или показателей его обнаружения — вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги. Выбор значения коэффициента различимости определяется различными факторами: типом оконечного устройства, видом модуляции, алгоритмом обработки сигнала, временем наблюдения (возможность накопления данных) и т. п. Для оценки чувствительности при сравнении различных приемных устройств используют величину предельной (пороговой) чувствительности, которая соответствует величине коэффициента различимости, равной единице. Так, для приемников МНРЛ величина чувствительности задается по критерию пропадания сигнала в шумах. В некоторых случаях для характеристики чувствительности приемника приводится величина его коэффициента шума. Тогда величина чувствительности может быть определена для заданных значений температуры антенны, эффективной шумовой полосы пропускания приемника и коэффициента различимости [16].

Полоса пропускания приемника определяется шириной спектра принимаемого сигнала, а также зависит от нестабильности частоты настройки приемника и нестабильности принимаемого сигнала. В автономных РЛ существенно ослабляет нестабильности применение недорогих схем автоматической подстройки частоты (АПЧ), позволяющих использовать в передатчике и гетеродине приемника простые схемные решения.

В приемниках обнаружения объектов в дальней зоне используются узкополосные сигналы, позволяющие выбрать узкую полосу пропускания (менее мегагерца) и реализовать максимальную чувствительность приемника. Так, в некогерентных РЛ для дальнего обнаружения используется импульсный сигнал увеличенной длительности (например, в МНРЛ «Градиент» при увеличении дальности действия длительность сигнала увеличивается с 2 до 5 мкс). Однако при сужении полосы пропускания увеличиваются ошибки определения координат, поэтому в приемниках точного определения координат с высоким разрешением по дальности (ОРЛ) величина полосы пропускания выбирается до десятков мегагерц в соответствии с требуемой величиной фронта сигнала (ВРЛ).

Требование на подавление зеркального канала приема задается только для приемников обнаружения (ОРЛ-Т), как для приемников максимальной чувствительности, и составляет порядка 60 дБ.

Номинальное значение промежуточной частоты в приемниках РЛ выбирается из условия допустимых искажений формы сигнала, получаемой после детектора, а также условия реализации заданной величины полосы пропускания (с точки зрения использования простых избирательных систем). Увеличение значения промежуточной частоты облегчает выполнение данных требований, однако уменьшение усиления активных элементов УПЧ с ростом частоты и возрастание конструктивных сложностей в реализации устойчивой работы УПЧ ограничивают выбор больших значений промежуточной частоты.

Динамический диапазон сигналов, поступающих на вход приемника РЛ, составляет 80...100 дБ, что обусловлено как различными уровнями мощности отраженного сигнала (обратно пропорционально четвертой степени расстояния до объекта в пассивных РЛ), так и воздействиями помех. Ограниченный динамический диапазон усилительных элементов требует сжатия диапазона входных сигналов. Для этой цели используются нелинейные каскады УПЧ (мгновенная АРУ), например, с логарифмической амплитудной характеристикой, временная АРУ (ВАРУ), использующая принцип регулировки усиления приемника в зависимости от времени прихода сигнала в приемник относительно зондирующего импульса. Для выделения сигнала на фоне длительной помехи используется быстродействующая АРУ, использующая для селекции помех разницу в длительностях сигнала и помехи по отношению к постоянной времени цепи АРУ.

К автономным радиолокационным средствам ЛА относят также радиовысотомеры (РВ) малых высот, дающие информацию об истинной текущей высоте полета ЛА в пределах от 0 до 1500 м. Принцип действия РВ основан на излучении в сторону Земли непрерывного частотно-модулированного колебания с несущей сантиметрового диапазона и частотой модуляции порядка сотен Гц (например, 150 Гц). Информация о высоте полета получается на основе использования частотного метода измерения запаздывания принятого сигнала, отраженного от Земли.

Приемник РВ в качестве первого каскада содержит смеситель, на который поступают колебания от передатчика (гетеродинный сигнал) и от антенны приемника. Разностная частота с выхода смесителя усиливается и подается на измеритель частоты, с которого снимается напряжение, пропорциональное вы-

соте полета ЛА. Параметры приемного устройства радиовысотомера РВ-5 следующие:

рабочая частота — 4,3 ГГц; излучаемая мощность — 0,4 Вт; девиация частоты — 50 МГц; чувствительность приемника — 90 дБ Вт; полоса пропускания* от 1...2 до 160 кГц.

Доплеровские измерители скорости и угла сноса (ДИСС) ЛА относятся к радиолокационным средствам с непрерывным сигналом. С помощью ДИСС определяются важнейшие характеристики движения ЛА — путевая скорость (скорость относительно земной поверхности, вектор которой совпадает с линией пути) и угол сноса (угол между вектором путевой скорости и вектором скорости относительно воздушной среды). Доплеровский сдвиг частоты сигнала, принимаемого при отражении от земной поверхности одного луча, зависит как от скорости, так и от угла сноса, поэтому для однозначного определения каждого параметра необходимо, по крайней мере, два луча, а для уменьшения ошибок измерения используется обычно три или четыре луча диаграммы направленности. Для ДИСС отведен сантиметровый диапазон. При использовании для излучения немодулированного колебания требуется надежная развязка приемной и передающей антенн. В ДИСС-016 используется излучение на двух частотах: 13320 МГц и 13330 МГц, что упрощает построение приемника. Он состоит из трех приемных блоков (по количеству лучей диаграммы направленности), каждый из которых собран по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты. Чувствительность приемника — 140 дБ·Вт при мощности передатчика 40...80 мВт. Первая промежуточная образуется как разность частот передатчиков (10 МГц), один из которых, в зависимости от номера луча, используется в качестве гетеродина. УПЧ имеет полосу не менее 2,5 МГц и коэффициент усиления около 60 дБ. Для второго преобразования — выделения доплеровской частоты — используется отдельный высокостабильный гетеродин, настроенный на частоту 10 МГц. Полоса пропускания низкочастотного тракта составляет 0,4...14 кГц, коэффициент усиления 50 дБ. Для поддержания постоянства амплитуды выходного сигнала при изменениях входного сигнала приемника (в зависимости от высоты полета, типа поверхности Земли, изменения углов облучения при эволюциях ЛА) использовано эффективное АРУ УПЧ с диапазоном 75 дБ.

1.4. ПРИЕМНИКИ СРЕДСТВ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ

Системы авиационной радиосвязи обеспечивают связь ЛА, находящихся в полете, между собой и с наземными служ-

* В зависимости от высоты 5 диапазонов.

бами УВД. Схема УВД, принятая, например, в гражданской авиации, предусматривает постоянно действующая связь с ЛА в течение всего полета — с момента запуска двигателей до момента за руливания на стоянку. На различных этапах полета ЛА связан двусторонней радиосвязью с диспетчерскими пунктами различных зон УВД, расположенными по всей трассе полета, что необходимо для обеспечения безопасности, регулярности и экономичности воздушного движения.

Для ведения авиационной радиосвязи в ГА в соответствии с соглашениями ИКАО выделены частоты в диапазонах ГКМВ, ДКМВ, МВ, ДМВ (табл. 3). Основным диапазоном связи с экипажами ЛА является диапазон МВ. Это обусловлено тем, что связь на МВ устойчива во времени, в этом диапазоне мал уровень помех, который почти не зависит от времени суток; атмосферные осадки и промышленные помехи оказывают незначительное влияние на радиосвязь. Однако основным недостатком использования МВ является ограниченная дальность связи, определяемая расстоянием прямой видимости. Так, даже при использовании мощных радиостанций аэродромных служб она не превышает несколько сот километров и существенно зависит от высоты полета ЛА. Для обеспечения непрерывности связи линии ГА должны быть перекрыты связью в диапазоне МВ. Это достигается установкой вдоль трассы полетов районных диспетчерских пунктов, оборудованных радиостанциями и средствами радиорелейной связи.

Коротковолновая связь в диапазоне ДКМВ является резервной по отношению к связи в диапазоне МВ. Она используется для организации дальней связи с ЛА и при полетах на малых высотах, когда радиосвязь на МВ затруднена. Земные волны в диапазоне ДКМВ быстро затухают (связь возможна лишь на десятки километров), поэтому для дальнейших связей используются пространственные волны. Надежность связи в этом случае зависит от электрических параметров среды распространения радиоволн, свойств земной поверхности, времени суток, характеристик помех естественного и искусственного происхождения.

Так как условия распространения ДКМВ не постоянны, а расстояние «борт—земля» изменяется, то для обеспечения непрерывной связи с ЛА необходимо иметь несколько рабочих частот, значительно отличающихся между собой. Поэтому приемники ЛА должны охватывать весь диапазон ДКМВ и часть ГКМВ (связь на ГКМВ ведется в районах, где ограничена возможность применения ДКМВ радиосвязи, особенно в северных широтах [13]).

Наземные радиостанции для связи с ЛА в ДКМВ-диапазонах работают одновременно на нескольких частотах (семействе частот), подбираемых для условий распространения волн днем, ночью, в зависимости от периода года и дальности связи. Это позволяет экипажу в полете выбирать для связи ту частоту из семейства частот, которая наиболее подходит для данных конкретных условий приема.

Перспективным направлением развития средств авиационной связи является использование ретрансляторов, расположенных на ИСЗ и работающих в диапазонах ДМВ и СМВ. Нахождение ИСЗ на геостационарных орбитах обеспечивает глобальную связь ЛА со служебной УВД на любых расстояниях и трассах полета.

Требование беспрерывной и бесподстроечной связи, а также необходимость вхождения в связь на любой требуемой частоте заставляют отказаться в бортовых радиостанциях от плавной перестройки приемников по диапазону принимаемых частот. Переход с одной рабочей частоты на другую происходит дискретно с определенным частотным интервалом между соседними фиксированными частотами.

Величина частотного интервала ограничивает максимальное число каналов связи в данном диапазоне частот приемника. Выбор величины частотного интервала зависит от стабильности частоты приемника и передатчика, ширины спектра принимаемых сигналов, мощности передатчиков и ширины спектра их излучения. В табл. 3 приведены рекомендованные ИКАО вели-

Т а б л и ц а 3

Частотные диапазоны авиационной связи

Частота, МГц	Диапа- зон	Частотный интервал, кГц	Число частот связи	Допустимая нестабильн. частоты	Вид связи
0,2...1,5	ГКМВ	2	650	$(1...3) \cdot 10^{-5}$	Дальняя
2...30	ДКМВ	0,1*	280000*	$0,5 \cdot 10^{-6}$	Дальняя
118...136	МВ	25	720	$(2...3) \cdot 10^{-5}$	Ближняя
220...400	ДМВ	50	3600	$(5...15) \cdot 10^{-6}$	Ближняя
1646,5...1660,5	ДМВ	25**	560**		Дальняя
1545...1559	ДМВ	25**	560**		борт-ИСЗ
5000...5250	СМВ				ИСЗ-борт
15400...15700	СМВ				Земля-ИСЗ-
0,5; 2,182;	от ГКМВ		1		борт
4,350; 121,5;	до ДМВ		1	$5 \cdot 10^{-5}$	Аварийно-
243, 406					спасательная

* Для А1А.

** В зависимости от способа многостанционного доступа.

чины частотных интервалов для различных диапазонов частот связи [1].

Указанная в табл. 3 допустимая нестабильность частоты приема и передачи сигналов делает необходимым применение в приемниках гетеродинов с кварцевой стабилизацией частоты, так как параметрическая стабилизация обеспечивает относительную нестабильность порядка $(5...50) \cdot 10^{-4}$.

Одновременное выполнение требований по обеспечению заданной частотной точности и дискретной перестройки приемника осуществляется путем применения схем синтезаторов частоты, дающих сетку фиксированных стабильных частот.

Выбор полосы пропускания приемника зависит от ширины спектра принимаемых сигналов, которая, в свою очередь, определяется классом излучения, используемым в радиосвязи. В авиационной радиосвязи наибольшее распространение нашла амплитудная модуляция с телефонным режимом работы.

Методы частотной модуляции (ЧМ) не нашли широкого применения, так как выигрыш по помехоустойчивости при использовании ЧМ достигается путем значительного расширения спектра ЧМ-сигнала и при малом уровне помех на входе приемника. При большом уровне помех, характерном для бортовых систем, возникает «пороговый» эффект (сигнал пропадает в шумах), который наступает тем раньше, чем больше индекс частотной модуляции.

Для размещения максимального числа независимых каналов связи в ограниченных участках диапазонов, выделенных на МВ, необходимо использовать узкополосные классы излучения.

Командные радиостанции ближней связи работают в режиме двухполосной АМ. ЧМ применяется в простых малогабаритных носимых радиостанциях внутриаэродромной связи, работающих на одной или нескольких фиксированных частотах. Эти радиостанции относятся к средствам низовой подвижной связи, и их параметры стандартизированы [17].

Полный выигрыш в помехоустойчивости, который дает ЧМ, реализуется при организации специальных линий дальней связи; тропосферных, спутниковых линий связи, на радиорелейных линиях.

Для дальней связи с ЛА в диапазоне ДКМВ при телефонном режиме работы используется ОМ. ОМ отличается узкополосностью, большей помехоустойчивостью, по сравнению с АМ, что особенно важно в загруженном КВ-диапазоне: сигналы с ОМ меньше подвержены замираниям при дальних связях. При глубокие модуляции, близкой к единице, ОМ дает восьмикратное улучшение отношения сигнал/шум на выходе детектора по сравнению с двухполосной АМ при условии равенства пиковых мощ-

ностей передатчиков, что позволяет существенно увеличить дальность связи [23].

Основным классом излучения для ОМ является *ИЗЕ* с уровнем подавления несущей не менее 26 дБ относительно мощности огибающей. С переходом на ОМ в авиационной связи принят разнос между соседними каналами, равный величине 3 кГц (для *АЗЕ*—8 кГц), что более чем в 2 раза увеличивает емкость диапазона.

В табл. 4 приведены характеристики распространенных классов излучения, используемых в авиационной связи. В таблице приняты следующие обозначения:

B — скорость телеграфирования, Бод;

α — коэффициент, учитывающий замирания сигнала ($\alpha=5$ — при наличии замираний, $\alpha=3$ — без замираний);

F_v, F_n — верхняя и нижняя частоты модуляции;

D — девиация частоты;

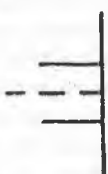
Ψ — индекс модуляции.

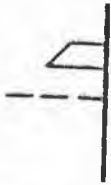
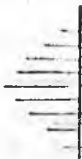
Величина полосы пропускания приемников авиационной связи определяется частотными параметрами радиолинии, шириной спектра сигнала, нестабильностью частоты передатчика и гетеродина приемника. В приемниках дальней связи, работающих в диапазонах ДКМВ и ГКМВ, где сильны внешние помехи, полоса пропускания выбирается минимальной при допустимых частотных искажениях принимаемого сигнала. В бортовых приемниках МВ и ДМВ, независимо от используемого частотного интервала, полоса пропускания выбирается равной 18 кГц (узкополосный вариант) или 40 кГц (широкополосный вариант). Это позволяет при смещении несущих наземных радиостанций с узкополосным классом излучения вести связь на одной частоте настройки бортового приемника последовательно или одновременно с несколькими (до пяти) диспетчерскими пунктами.

Частотно-избирательные свойства приемника определяются его резонансной характеристикой. Форма резонансной характеристики задается при проектировании приемника различными способами: допустимой величиной коэффициента прямоугольности по определенному уровню, полосой пропускания приемника при заданном ослаблении, избирательностью по соседнему каналу. Нетрудно заметить, что все эти показатели взаимосвязаны.

Для расчетов избирательных систем, обеспечивающих основную избирательность приемника, удобнее пользоваться величиной избирательности по соседнему каналу. По требованиям ИКАО в приемниках связи ЛА подавление соседних каналов должно быть не менее 60 дБ, при частотном разносе соседних каналов ± 50 кГц. Избирательность приемников по неосновным

Характеристики классов излучения, используемых в авиационной связи

Модуляция	Вид спектра	Ширина полосы сигнала	Примеры расчета	
			Характеристики передачи	Полоса, Гц
Одноканальная телеграфия незатухающими колебаниями (A1A)		$\propto B$	$B = 10$ Бод $B = 20$ Бод $B = 50$ Бод	30 60 150
Тональная телеграфия (B1A)		$2F_B + \alpha B$	$F_B = 900$ Гц $B = 20$ Бод	1900
Радиотелефония, две боковые полосы (A3E)		$2F_B$	$F_B = 3400$ Гц $F_B = 3000$ Гц	6800 6000
Радиотелефония, одна боковая полоса (H3E)		F_B	$F_B = 3400$ Гц $F_B = 2700$ Гц	3400 2700

Модуляции	Вид спектра	Ширина полосы сигнала	Примеры расчета	
			Характеристики передачи	Полоса, Гц
Радиотелефония, одна боковая полоса с подавл. несущей (J3E)		$F_B - F_H$	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $F_H = 300 \text{ Гц}$	3100
Радиотелефония, две независимые боковые полосы (B3E)		$2 F_B$	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $F_H = 3000 \text{ Гц}$	6800 6000
Частотная телеграфия (F1A)		$2,2 D + 2 B$	$D = 500 \text{ Гц}$ $B = 50 \text{ Бод}$	1200
Частотная телеграфия (F3A)		$2 F_B (\Psi = 1)$ $2 F_B (1 + \Psi + \sqrt{\Psi})$	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $\Psi = 5$	6800 56000

каналам приема должна быть достаточно велика для достижения помехоустойчивости связи. Для определения чувствительности приемников связи обычно задается величина реальной чувствительности при частоте модуляции 1000 Гц, коэффициенте глубины модуляции 30%, нормальном выходном напряжении на нагрузке (например, на двух парах высокоомных телефонов (1600 Ом) ТА-56М-15В) и соотношении сигнал/шум, равном 3. Величина чувствительности приемников ЛА обычно равна 3...15 мкВ в телефонном режиме до 1 мкВ при ОМ и 0,3...5 мкВ в телеграфном режиме. Увеличению чувствительности мешает значительный уровень помех на борту ЛА и ограниченные возможности применения высокоэффективных антенн в диапазонах ДКМВ и ГКМВ.

Основные параметры приемников авиационной связи, используемых в ГА, приведены в табл. 5—7 [8, 13, 18, 23, 26].

Таблица 5

Основные характеристики приемников радиостанций
диапазона МВ

Параметры	Единицы изме- рения	Радиостанции		
		«Ландыш»	«Баклан»	«Полет»
Диапазон частот	МГц	118...135,975	118...135,975	100...149,375
Разнос частот между соседними каналами связи	кГц	25	25	25
Число частот связи		720	720	2000
Стабильность частоты		$\pm 3,5 \cdot 10^{-5}$	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$	$\pm 1 \cdot 10^{-5}$
Чувствительность при частоте модуляции 1000 Гц, глубине модуляции 30%, напряжении 15 В на высокоомных телефонах и сигнал/шум=3	мкВ	≤ 3	$\leq 2,5$	$\leq 2^*$
Полоса пропускания при ослаблении сигнала на:				
6 дБ	кГц	40	18	19, 40
60 дБ	кГц	≤ 100		48, 86
70 дБ	кГц		37	
80 дБ	кГц			80, 160
Ослабление неосновных каналов приема	дБ	≥ 70	≥ 80	$\geq 70^{**}$
Коэффициент нелинейных искажений	%	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$
Изменение напряжения на выходе при изменении входного сигнала:				
от 10 мкВ до 0,1 В	дБ	≤ 6		
от 5 мкВ до 0,1 В	дБ		≤ 3	

Окончание табл. 5

Параметры	Единицы измерения	Радиостанции		
		«Ландыш»	«Баклан»	«Полет»
Неравномерность частот характеристики в диапазоне 300...2500 Гц	дБ	≤ 6	≤ 6	≤ 6
Питание	В	$27 \pm 10\%$	$27 \pm 10\%$	$27 \pm 10\%$
	Вт	80	30	$220 \pm 10\%$ $22,44 \pm 20\%$
Потребляемая мощность				
Время перестройки на соседнюю волну	с	≤ 1	≤ 1	
Диапазон рабочих температур	°С	$-40 + 50$	$-54 + 55$	
Место установки		Борт ЛА	Борт ЛА	Аэродромные службы

* При соотношении сигнал / шум = 2.

** При расстройке $\pm 5\%$ от частоты сигнала.

Т а б л и ц а 6

Основные характеристики приемников радиостанций дальней связи ЛА ГА

Параметры	Единицы измерения	Радиостанции		
		«Микрон»	«Карат»	«Ядро»
Диапазон частот	МГц	2...24	2...10,1	2...18
Разнос частот между соседними каналами связи	кГц	0,1	1,0	0,1
Число частот связи		220000	8100	160000
Стабильность частоты		$\pm 0,5 \cdot 10^{-6}$	$\pm 30 \cdot 10^{-6}$	$\pm 0,3 \cdot 10^{-6}$
Чувствительность приемника при соотношении сигнал/шум 10 дБ и напряжении 15 В на высокоомных телефонах:	мкВ			
в режиме АЗ		≤ 3		≤ 5
в режиме J3E		≤ 1	≤ 5	≤ 3
в режиме А1		≤ 1		≤ 3
Полоса пропускания при ослаблении сигнала:	кГц			
на 6 дБ в А1		0,35		
на 6 дБ в АЗ		6,4	8	7,8
на 54 дБ в АЗ				27,6
на 54 дБ в J3E				13,8
на 6 дБ в J3E		3,1		

Окончание табл. 6

Параметры	Единицы измерения	Радиостанции		
		«Микрон»	«Карат»	«Ядро»
Ослабление неосновных каналов приема: за полосой ± 7 кГц промежуточных частот зеркальных	дБ			54 (A31) 80 ≥ 60
Неравномерность частотной характеристики в полосе 300...3400 Гц	дБ	≥ 60 ≥ 60 ≤ 6	≥ 60 ≥ 60	≤ 6
Коэффициент нелинейных искажений	%	≤ 7		
Питание		115 В 400 Гц +27В	+27В	+27В
Потребляемая мощность	ВА Вт	250 100		200
Масса радиостанции	кг	35	18	16

1.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ПРИЕМНИКОВ В СИСТЕМЕ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОРАДИООБОРУДОВАНИЯ

Непрерывный рост числа радиосредств, размещаемых как на борту ЛА, так и в районе аэродромов, возрастание уровня непреднамеренных электромагнитных помех от промышленных установок и электрических устройств различного назначения оказывают сильное влияние на работу приемных устройств РТС ЛА. Анализ электромагнитной обстановки, в которой функционирует приемник, позволяет выработать определенные требования по электромагнитной совместимости (ЭМС) различных радиосредств в системе электрорадиооборудования ЛА.

Электромагнитная совместимость приемного устройства—это его способность функционировать без ухудшения качественных показателей совместно с другими техническими средствами в условиях влияния непреднамеренных помех, не создавая при этом недопустимых помех другим средствам. Трудность обеспечения ЭМС бортового оборудования ЛА в первую очередь связана с тем, что при ограниченных размерах ЛА на его борту должны одновременно и совместно работать радиосредства различного назначения. В качестве примера в табл.8 приведены выборочные характеристики радиооборудования самолета ГА Ту-154. Большие мощности излучения передатчиков и высокая чувствительность приемников требуют принятия специальных мер по

Таблица 7

Основные характеристики приемников радиостанций внутриаэродромной связи

Параметры	Единицы измерения	«Тюльпан» 22РТП-2-4М	«Пальма»	«Гранит» 50РГМ-А2-4М	«Кремница»
Частота настройки	МГц	140...174	140...174	33...46	163,2...164,175
Разност частот между соседними каналами связи	кГц	50	50	25	25
Число частот связи		1	3	1	4; 40
Стабильность частоты		$\pm 10^{-5}$	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	$\pm 4 \cdot 10^{-5}$	$\pm 10^{-5}$
Чувствительность при частоте модуляции 1000 Гц, девиации 5 кГц (ЗА) и соотношении сигнал/шум, равном 10	мкВ	$< 1,5$	$< 1,0$	$< 1,5$	$< 1,2$
Выходная мощность	мВт	> 40	> 500	> 1000	> 50
Полоса пропускания на уровне: 6 дБ 80 дБ	кГц	28	28	15 48	15 48
Ослабление неосновных каналов приема	дБ	> 70	> 70	> 70	> 70
Двухсигнальная избирательность по соседнему каналу	дБ	> 60	> 70	> 70	> 70
Коэффициент нелинейных искажений	%	< 15	< 10	< 10	< 10
Питание	В	7,5	220В, 50 Гц	12	12
Потребляемая мощность	Вт	0,22		7,5	7,5
Диапазон рабочих температур	°С	-10...+50	-25...+50	-25...+50	-25...+50

Т а б л и ц а 8

Бортовое радиооборудование самолета ТУ-154 [12]

Наименование бортовых радиосредств	Диапазон частот, МГц	Мощность излучения, кВт	Чувствительность приемника
Долинеровский измеритель скорости и угла сноса самолета	9430	0,005 И	—139 дБ·Вт
Радиолокатор «Гроза»	9370	9,0 И	—130 дБ·Вт
Радиовысотомер	4200...4400	0,0004 И	—90 дБ·Вт
Самолетный дальномер: канал запроса канал ответа	1025...1150 962...1213	1,25 И	—116 дБ·Вт
Радиосистема ближней навигации: передатчик приемник	770...812 940...1000	1,0 И	—122 дБ·Вт
Самолетный ответчик: приемник передатчик	837,5 730...760	0,3...1,2 И	—84 дБ·Вт
Навигационно-посадочная система: курсовой приемник глиссадный приемник маркерный приемник	108...117,95 329,3...335 75		3 мкВ 8 мкВ 150 мкВ
Радиостанция ближней связи	118...136	0,02 И	3 мкВ
Радиостанция дальней связи	2...24	0,44	1 мкВ
Радиокомпас	0,15...1,8		5...8 мкВ

обеспечению ЭМС, касающихся как организационных, так и технических регламентаций. Важным организационным мероприятием по обеспечению ЭМС является распределение частот между различными радиотехническими средствами обеспечения полетов ЛА и ограничение мощности излучения бортовых передатчиков, проведенное в соответствии с международным соглашением и закрепленное в стандартах. Это позволяет, в частности, прогнозировать электромагнитную обстановку на отечественных и зарубежных линиях ГА и учитывать ее на этапе проектирования аппаратуры. Электромагнитная обстановка, в которой работают приемные устройства РТС ЛА, определяется внутрисистемными и межсистемными помехами.

1.5.1. Внутрисистемные помехи

Данные помехи воздействуют на отдельные блоки аппаратуры, соединительные кабели, подводящие и отводящие линии (рис. 1). Источниками таких помех на борту ЛА являются:

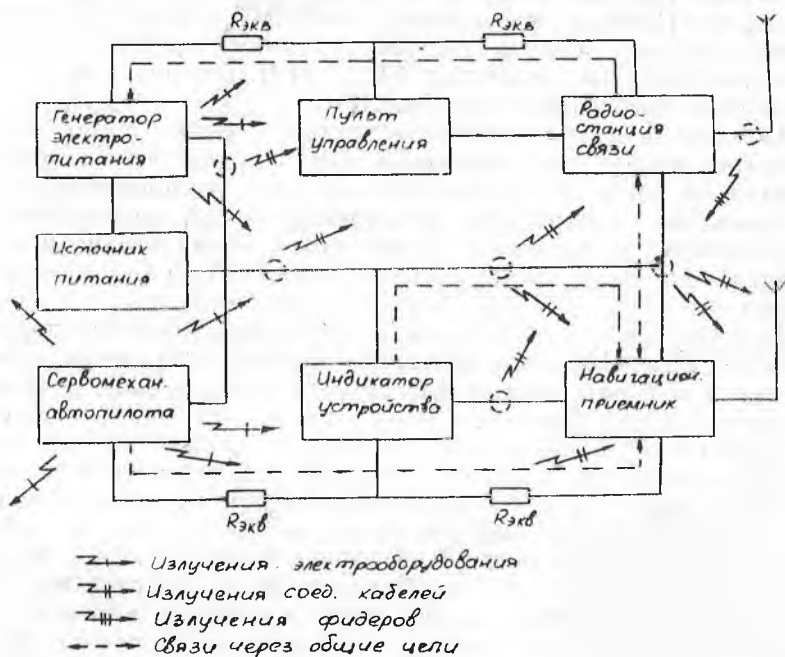


Рис. 1. Пути образования внутрисистемных помех на борту ЛА

являются многочисленные электромеханические устройства — сервомоторы, реле, управляющие механизмы. Блоки мощного импульсного модулятора, фидеры РЛ могут давать непосредственные «наводки» на блоки других радиосистем, содержащие чувствительные усилители, работающие в широкой полосе частот. Источником широкополосных помех являются блоки вычислительных устройств.

Сильные помехи создаются бортовыми устройствами, работающими в импульсном режиме и дающими «броски» напряжения в бортовой сети постоянного тока. Источником сильных специфических помех для бортовой аппаратуры, проявляющихся только в полете, являются разряды статического электричества, образующихся на элементах конструкции ЛА. Эти разряды могут возникать из-за трения частиц воздуха об обшивку ЛА, при полетах в сильной облачности, вдоль грозовых фронтов.

Напряжения, обусловленные внутрисистемными помехами, появляясь в сигнальных цепях приемников, могут вызывать снижение чувствительности усилительных каскадов и искажение принимаемой информации за счет вторичной модуляции или блокирования сигнала, а также ложное срабатывание оконечных устройств. Наиболее уязвимыми к действию данных помех являются входные каскады приемников с малым уровнем сигнала (антенно-фидерные устройства, УРЧ, УПЧ), каскады с большим усилением, высокооборотные фильтры.

Основными путями снижения внутрисистемных помех являются следующие: учет требований ЭМС при компоновке оборудования на борту ЛА и размещение антенн, рациональное конструирование аппаратуры, фильтрация помех, экранирование электрических и магнитных полей помех, металлизация и соединение с корпусом элементов конструкции ЛА для образования общего «провода» питания радиооборудования.

В соответствии с требованиями ЭМС при компоновке аппаратуры на борту ЛА выполняется пространственный разнос аппаратуры и антенных систем, работающих на излучение, и прием близких частот. Приемные блоки аппаратуры располагаются на максимально возможном удалении от блоков мощных импульсных передатчиков (радиолокатора, дальномера, ответчика). Развязка между антеннами улучшается при их расположении в направлении минимумов диаграммы направленности и в зонах тени, образуемых элементами конструкции ЛА. Особенно чувствительны к воздействию помех блоки навигационной аппаратуры (РВ, ДИСС, АРК), так как возможные помехи на близких частотах вносят ошибки определения полетных координат. Нормированное значение развязки антенн этих устройств устанавливается до 70...80 дБ [24]. Примером размещения радиооборудования с учетом требований ЭМС является компоновка аппаратуры на самолете Ту-154 (рис. 2) и вертолете МИ-8 (рис. 3).

Рациональное конструирование требует разбиения аппаратуры на отдельные блоки и субблоки, выполнения усилителей в виде линеек, разнесения входных и выходных контактов и т. п. Целесообразно, например, разбиение многокаскадного усилителя промежуточной частоты, обладающего большим усилением, на две части — предварительного усиления и оконечного, — выполненных в виде самостоятельных конструктивных узлов.

Фильтрация помех используется для ослабления мешающих сигналов в различных цепях аппаратуры. На входе приемников устанавливаются высокочастотные режекторные фильтры, настроенные на частоты излучения бортовых передатчиков (например, так называемый противорадиолокационный фильтр на входе приемника радиостанции диапазона МВ). Для ослабления помех, распространяющихся по общим цепям питания, и управ-

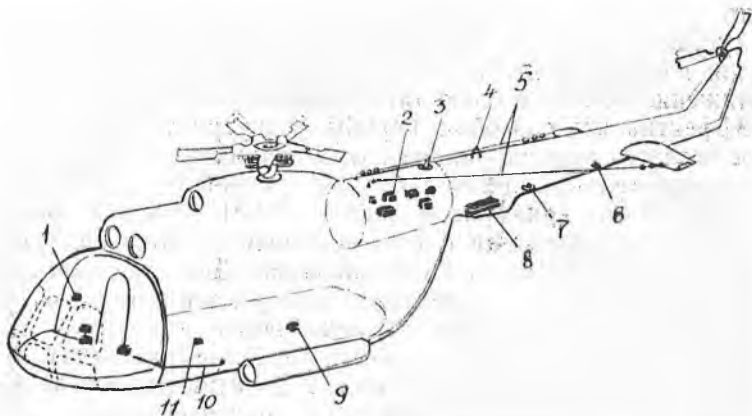


Рис. 2. Размещение радиосредств на вертолете МИ-8: 1 — АРК; 2 — РВ, ДИСС, радиостанции МВ и ДКМВ; 3, 4 — антенны связи на МВ, 5 — антенна связи на ДКМВ; 6, 7 — передающая и приемная антенна РВ; 8 — блок ДИСС с антенной; 9 — антенный блок АРКУКВ; 10, 11 — ненаправленные и рамочная антенны АРК

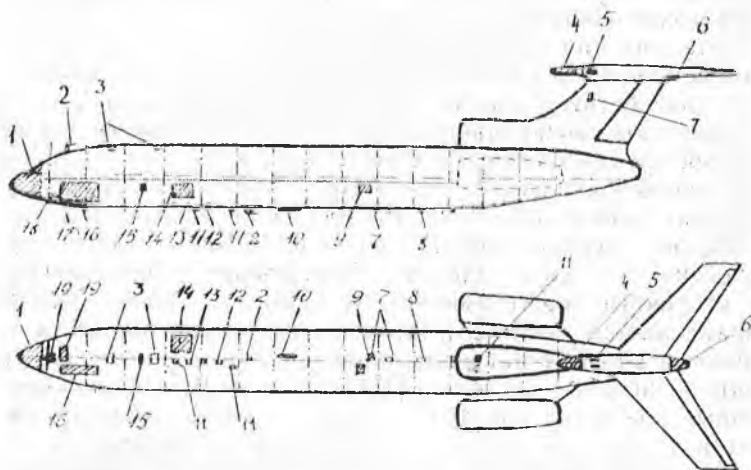


Рис. 3. Размещение радиосредств на самолете Ту-154: 1 — под радиопрозрачным носовым обтекателем: антенна МНРЛ, передняя антенна РСБН и СО УВД, курсовая и глиссадная антенны КРП и ГРП; 2 — антенны связи на МВ; 3 — рамочные антенны АРК; 4 — антенна связи на ДКМВ, ГКМВ; 5 — антенные согласующие устройства ДКМВ, ГКМВ; 6 — задняя антенна РСБН и СО УВД; 7 — щелевые антенны СО УВД; 8 — антенна дальномера; 9 — блок дальномера; 10 — шлейфовая антенна АРК; 11 — антенна РСДП; 12, 13 — антенны РВ; 14 — радиостанция ДКМВ, ГКМВ, 15 — АРК; 16 — основной отсек (радиостанция, АРК, РСБН); 17 — антенна маркерного приемника; 18 — блок ДИСС с антенной; 19 — антенна и блоки МНРЛ

ления различных устройств используются фильтры низких частот, устанавливаемые в непосредственной близости от входа в блок или субблок. Такая фильтрация ослабляет как «вход» напряжения помехи в блок, так и «выход» помехи из блока.

Эффективным способом борьбы с внутрисистемными помехами является экранирование как источников помех, так и высокочувствительных цепей приемных устройств. Экранируются отдельные узлы приемников линейки УПЧ, входные фильтры, антенные переключатели и т. п. субблоки и блоки аппаратуры, цепи питания, управления сигнализацией. Действие электростатических экранов, выполняемых из материалов с высокой электропроводностью, основано на ослаблении емкостных связей между источником и приемником помех. Электромагнитные экраны защищают от действия электромагнитных помех фильтры, содержащие катушки индуктивности, трансформаторы, высокочастотные чувствительные каскады.

Особое внимание при разработке аппаратуры уделяется экранированию соединительных проводов и кабелей питания. Это связано с тем, что отдельные блоки аппаратуры могут быть размещены в удаленных друг от друга отсеках ЛА и длина кабелей может составлять десятки метров.

Металлизация элементов конструкции ЛА и соединение их в единое электрически монолитное целое (так называемый «корпус») способствует предотвращению возникновения электрических разрядов, возникающих при облучении электромагнитной энергией элементов конструкции ЛА и являющихся источником широкополосных помех. С другой стороны, создание единого «корпуса» необходимо для устранения переизлучения электромагнитной энергии элементами конструкции ЛА, имеющими плохой контакт друг с другом. Образующиеся при переизлучении вторичные электромагнитные поля искажают диаграмму направленности приемных антенн, что может привести к погрешности в работе навигационных устройств (например, радиомаячной системы посадки, АРК и т. п.). Все подвижные или съемные элементы конструкции ЛА (створки, люки, рули, элероны и т. п.) соединяются проводниками сечением не менее 6 мм^2 , сопротивление в местах соединений не должно превышать $0,6 \dots 2 \text{ мОм}$.

В ответственных случаях для защиты аппаратуры от помех по цепям управления применяют гальваническую развязку внешних и внутренних цепей. Развязка осуществляется с помощью малоемкостных трансформаторов или оптронов [9]. Детальному рассмотрению внутрисистемных помех и методам их ослабления в радиоаппаратуре общего назначения посвящены работы [4, 9, 10].

1.5.2. Межсистемные помехи

Все колебания, поступающие в антенну, кроме колебания полезного сигнала, рассматриваются как «мешающие сигналы» или межсистемные помехи. Источники таких помех могут быть естественного или искусственного происхождения [6].

Естественные помехи обусловлены электрическими разрядами в атмосфере (атмосферные), близким разрядом молнии или ядерным взрывом (электромагнитные импульсные), космическим радиоизлучением Солнца, Звезд и Галактики. *Искусственные помехи* можно разделить на стационарные и промышленные. К *стационарным помехам* относятся излучения радиотехнических средств, расположенных как на борту ЛА, так и на Земле; источниками помех могут быть передающие устройства, излучающие как в основной полосе рабочих частот, так и вне ее, гетеродины приемников, генераторы накачки параметрических усилителей и т. п.

Промышленные помехи обусловлены электромагнитными процессами в технике. Источниками помех могут быть генераторы промышленных установок, электроустройства с разрывными контактами и электродвигателями, электротранспорт, высоковольтные линии электропередач, системы зажигания двигателей внутреннего сгорания и т. п.

В ближней зоне от источника помех излучаемое электрическое или магнитное поле может воздействовать непосредственно на узлы аппаратуры, вызывая нарушения их работы. Характер влияния помех на приемники различных радиосредств зависит от типа и характеристик приемника, механизма связи, интенсивности помехи, ее характеристик и т. д. При воздействии через антенный вход мощной импульсной помехи (более 0,5...5 Вт) может произойти разрушение активных элементов УРЧ или смесителей. При меньших уровнях помех наблюдается ведущее к срыву приема ухудшение качественных показателей приемника: насыщение входных каскадов, блокирование приема, уменьшение соотношения сигнал/помеха. Отмеченные явления могут происходить даже если помеха не попадает в основную полосу пропускания приемника.

1.5.3. Восприимчивость приемника к межсистемным помехам

Идеальный, с точки зрения ЭМС, приемник должен обладать заданной чувствительностью на рабочей частоте f_c , устанавливаемой при настройке приемника, а его полоса пропускания должна соответствовать полосе частот принимаемого сигнала с учетом допустимых нестабильностей. Однако из-за

несовершенства избирательных систем, нелинейности характеристик входных каскадов и других факторов приемник, настроенный на частоту f_c , оказывается восприимчивым к помехам, возникающим в антенне на частотах $f_n \neq f_c$.

Величина восприимчивости приемника может определяться аналогично величине чувствительности — напряжением, подводимым ко входу приемника и дающим на его выходе номинальное выходное напряжение. Оцениваться восприимчивость приемника к помехам может по величине ослабления чувствительности на «опасных», с точки зрения восприимчивости, частотах. Величина ослабления чувствительности равна отношению восприимчивости к чувствительности, причем, восприимчивость и чувствительность определяются при одинаковых условиях (по, разумеется, на различных частотах), и выражаются в децибелах. Величина ослабления чувствительности соответствует величине избирательности приемника на «опасной» частоте, определенной по отношению к чувствительности приемника.

Существование (опасных) частот, на которых восприимчивость приемника наиболее велика, объясняется существованием так называемых *неосновных каналов приема*. Неосновные каналы можно разделить на побочные и внеполосные. *Побочные каналы приема образуются* в супергетеродинных приемниках в смесителях за счет нелинейных свойств активных элементов. Интенсивность помех, проходящих в приемник по этим каналам приема, зависит от избирательности преселектора (цепей, стоящих до смесителя). Побочные каналы возникают в результате нелинейного взаимодействия напряжений мешающих сигналов между собой, а также с напряжением гетеродина.

Побочные каналы могут быть комбинационными и интермодуляционными. *Комбинационные каналы* возникают за счет нелинейного взаимодействия в смесителе напряжения мешающего сигнала с частотой $f_{\text{пом}}$ и его гармоник с напряжением гетеродина (частота f_r) и его гармониками.

В результате на нагрузке смесителя, настроенной на частоту $f_{\text{пр}}$, выделяются составляющие помех, удовлетворяющие соотношению

$$(pf_{\text{пом}} \pm qf_r) = f_{\text{пр}} \pm 1/2 \Delta f_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где p, q — целые числа (например, для сигнального канала $p=q=1$, т. е. $f_{\text{ск}} - f_r = f_{\text{пр}} \pm 1/2 \Delta f_{\text{пр}}$), которые определяются видом нелинейности характеристик преселектора, смесителя и гетеродина; $\Delta f_{\text{пр}}$ — полоса пропускания тракта промежуточной частоты.

Если соотношение (1) при заданных значениях f_r и $f_{\text{пр}}$ выполняется для частоты помехи, то та не может быть отфильтрована в тракте промежуточной частоты и пройдет на выход при-

емника вместе с полезным сигналом. При однократном преобразовании частоты в приемнике комбинационные частоты находятся из соотношения (1) для $f_{\text{пом}} = f_k$.

Амплитуды комбинационных составляющих взаимодействующих напряжений зависят от характера нелинейности каскада. Уровень комбинационных помех оказывается тем меньше, чем ближе характеристика смесителя в квадратичной. При квадратичном смесителе крутизна его характеристики линейна, поэтому при преобразовании частоты не образуется гармоник высокого порядка. В этом случае, при условии линейности преселектора и гетеродина, из комбинационных каналов образуются лишь зеркальный канал и канал прямого прохождения промежуточной частоты (рис. 4). Если в приемнике имеется двойное

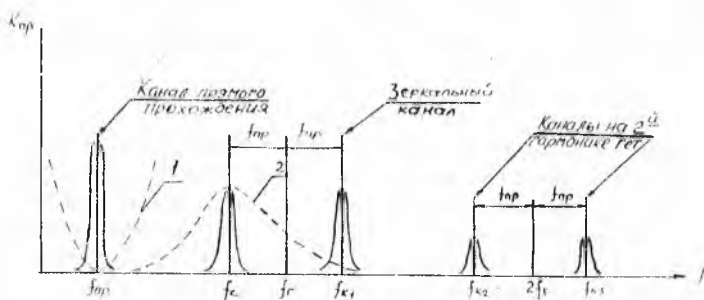


Рис. 4. Формирование комбинационных каналов приема при однократном преобразовании частоты ($p = 1, q = 1,2$) 1 — ЧХ запирающего фильтра в преселекторе; 2 — ЧХ преселектора; $K_{\text{пр}}$ — коэффициент усиления приемника на выходе преобразователя частоты

преобразование частоты, то количество потенциально возможных комбинационных каналов увеличивается, а расчет их усложняется [6].

При проектировании приемника заданную избирательность по комбинационным каналам приема обеспечивают [10] следующим образом:

выбор сравнительно высокого значения $f_{\text{пр}}$ (порядка десятков мегагерц) в приемниках диапазона МВ и более длинных волн, что часто ведет к использованию схем с многократным преобразованием частоты; при этом зеркальный и некоторые другие комбинационные каналы оказываются за пределами полосы пропускания простого преселектора;

применение в смесителе активных элементов с квадратичной характеристикой в большом динамическом диапазоне амплитуд входных сигналов (например, полевых МОП-тетродов);

установка в преселекторе запирающих фильтров, настроенных на промежуточные частоты;

применение балансных и кольцевых схем смесителей, ослабляющих отдельные комбинационные составляющие, схем с компенсацией зеркального канала;

выбор относительно малого усиления преселектора, что позволяет уменьшить динамический диапазон сигналов на входе смесителя;

повышение избирательности преселектора (что не всегда целесообразно, так как может привести к значительному усложнению радиочастотных каскадов диапазоновых приемников).

Интермодуляционные каналы приема возникают за счет взаимодействия напряжений нескольких мешающих сигналов и их гармоник с напряжением гетеродина и его гармониками, в результате чего образуются частоты, удовлетворяющие соотношению

$$(p_1 f_{к1} \pm p_2 f_{к2} \pm p_3 f_{к3} \pm \dots q f_{г}) = f_{пр} \pm 1/2 \Delta f_{пр} \quad (2)$$

Причем интермодуляционные каналы могут образовываться за счет нелинейности каскадов, предшествующих смесителю, когда два (или более) мешающих сигнала дают величину $f_{пр}$ или одну из комбинационных частот. Уменьшение восприимчивости приемника к мешающим сигналам по интермодуляционным каналам приема достигается путем применения преселекторов, линейных во всем динамическом диапазоне амплитуд мешающих сигналов, а также путями, обеспечивающими снижение комбинационных помех.

Внеполосные каналы приема образуются при воздействии интенсивной помехи на первые каскады приемника. Вследствие того, что избирательность входных каскадов значительно меньше избирательности тракта промежуточной частоты, на входные каскады попадают полезный сигнал и колебания мешающих станций, лежащих за основной полосой приемника, но в полосе преселектора. Из-за нелинейности характеристик активного элемента одновременное воздействие слабого (как правило) сигнала и сильной помехи вызывает снижение усиления (блокирование) каскада, а также модуляцию полезного сигнала частотой модуляции помехи (перекрестная модуляция).

Характерным для внеполосных каналов приема является то, что их действие проявляется только при наличии полезного сигнала. Блокирование приема связано с изменением средней крутизны активного элемента, обусловленным приращением постоянной составляющей его входного тока за счет напряжения помехи. Перекрестная модуляция возникает за счет изменения коэффициента передачи каскада вследствие нелинейного изменения крутизны в такт с модуляцией мешающего сигнала.

При проектировании приемника нормы на подавление внеполосных каналов могут быть заданы в виде допустимых значений коэффициента блокирования $K_{\text{бл}}$ и коэффициента перекрестной модуляции $K_{\text{пер}}$, определяемых соотношениями

$$K_{\text{бл}} = 0,25(S''/S)U_{\text{мп}}^2; \quad K_{\text{пер}} = 0,5(S''/S)m_{\text{п}}U_{\text{мп}}^2, \quad (3)$$

где S''/S — параметр, оценивающий нелинейность характеристики активного элемента (S'' — вторая производная крутизны, S — крутизна характеристики); $U_{\text{мп}}$ — амплитуда напряжения помехи на входе активного элемента; $m_{\text{п}}$ — глубина модуляции помехи.

Из формул (3) можно определить по заданной величине коэффициента требуемую величину S''/S и выбрать соответствующий активный элемент для усилительного каскада. При этом напряжение помехи рассчитывают исходя из известной напряженности поля помехи в точке расположения приемника и коэффициента передачи тракта приемника, от антенны до входа активного элемента, определенного на частоте помехи.

Часто внеполосные каналы нормируют величиной двухсигнальной избирательности или динамического диапазона:

$$D_{\text{бл}} = 20 \lg \frac{U_{\text{мп бл}}}{E_A}, \quad (4)$$

$$D_{\text{пер}} = 20 \lg \frac{U_{\text{мп пер}}}{E_A},$$

где E_A — чувствительность приемника.

При задании норм в виде формул (4) полагается, что коэффициенты блокирования и перекрестной модуляции не превышают «безопасных» величин: $K_{\text{бл}} = 0,2 \dots 0,3$; $K_{\text{пер}} = 0,05 \dots 0,1$; а частота помехи соответствует соседнему каналу приема.

При проектировании приемника заданные нормы на избирательность по внеполосным каналам приема обеспечиваются выбором линейного активного элемента входных каскадов и его режима, обеспечивающего снижение нелинейных искажений (обычно полевые транзисторы). Положительный эффект дает установка во входной цепи аттенюатора; применение в схемах входных каскадов линеаризации, например, путем введения отрицательной обратной связи; увеличение избирательности входных цепей. Следует отметить, что эффект перекрестной модуляции слабее выражен в приемниках ЧМ-сигналов, где учитывается только угловая перекрестная модуляция. В приемниках ОМ-сигналов коэффициент перекрестной модуляции в $2/m_c$ раз ниже, чем в режиме АМ, кроме того, если мешающая станция работает в режиме АМ, то искажения становятся невидными, что дополнительно снижает мешающее действие перекрестных помех.

1.5.4. Методы обеспечения ЭМС приемных устройств

ЭМС приемников ЛА может быть обеспечена путем принятия комплекса организационных и технических мер, основными из которых являются следующие:

рациональное распределение рабочих частот между радиослужбами различного назначения, проводимое в соответствии с международными соглашениями; выделение полос частот для радиослужб с учетом требуемого частотного разнесения для аппаратуры с конкретными характеристиками ЭМС (например, частоты излучения мощных передатчиков одних средств отнесены от диапазонов работы чувствительных приемников других средств); существующее распределение частот в ГА, соответствующее требованиям ИКАО, иллюстрирует табл. 8 на примере радиосредств самолета Ту-154:

пространственный разнос приемопередающей аппаратуры, в соответствии с которым, например, радиоприемные и передающие центры аэродромных служб удаляют друг от друга на расстояние до нескольких километров;

частотный разнос соседних каналов связи, обеспеченный требованиями стабильности частоты передатчиков и гетеродинов приемников;

временной разнос при работе на излучение и прием, бланкирование (запирание каскадов) приемника на время излучения мощных импульсов бортовых передатчиков;

ограничение мощности излучения бортовых радиосредств и введение жестких норм на подавление внеполосных излучений передатчиков и на подавление паразитного излучения гетеродинов приемников;

конструкторско-технологические меры, направленные на борьбу с внутрисистемными помехами, в частности, рациональное размещение антенн и блоков различных радиосредств на борту ЛА, ослабляющее их взаимное влияние;

схемотехнические меры, касающиеся в большей степени подавления межсистемных помех и связанные с реализацией требований по обеспечению высокой избирательности приемников по основным каналам приема.

Последний из перечисленных факторов в значительной мере определяет структурное построение приемников РТС ЛА, которое будет рассмотрено.

1.6. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОРТОВЫХ РАДИОСРЕДСТВ

Бортовые приемники РТС ЛА работают в сложных, быстроизменяющихся условиях. При подъеме на высоту изменяется атмосферное давление, температура, влажность, радиа-

ния. Наличие этих факторов, а также действие постоянных вибраций, ускорений, ударов и акустических шумов обуславливают специальные требования, предъявляемые к схемотехническому и конструктивному выполнению аппаратуры [24].

Давление и плотность воздуха с увеличением высоты полета резко уменьшаются, что приводит к изменению электрической прочности воздуха и теплоотдачи нагретой аппаратуры. Это может привести к ухудшению надежности аппаратуры из-за возникновения электрических разрядов между проводниками, находящимися под большим напряжением, чему также способствует увеличение уровня ионизации воздуха с ростом высоты. Уменьшение плотности воздуха ведет к снижению его теплопроводности, что существенно снижает эффективность систем воздушного охлаждения (например охлаждения блока магнетронного передатчика). При снижении давления падает эффективность акустических приборов — громкоговорителей, телефонов, микрофонов, ларингофонов, используемых для связи. Нормальное давление (84...107 кПа) поддерживается путем герметизации блоков аппаратуры или размещения их в герметичных отсеках ЛА. Если аппаратура находится в герметичных отсеках кабины, то вредное влияние на нее изменения давления воздуха уменьшается. Однако постоянному давлению воздуха внутри кабин соответствует определенная «условная» высота поднятия, составляющая примерно 1500...3000 м. Для облегчения режима работы аппаратуры в негерметичных отсеках используется принудительный поддув воздуха с давлением 0,6 ат и температурой не более +50°C.

Вибрация, ускорения, ударные нагрузки действуют на бортовую аппаратуру в течение всего полета. Сильное влияние вибрации оказывают на избирательные и колебательные системы, проявляясь, с одной стороны, в виде виброшумов и паразитной модуляции на выходе приемников и, с другой стороны, ухудшая стабильность гетеродинов. Вибрации могут изменять взаимное расположение проводников и деталей, приводить к изменению расположения подстроечных сердечников катушек индуктивности, вызывать разрегулировку подстроечных элементов — резисторов, конденсаторов.

Защита аппаратуры от вредного воздействия перечисленных факторов осуществляется по двум направлениям. Во-первых, при проектировании бортовых приемников необходимо выбирать радиоэлементы, выдерживающие заданные нагрузки; конструкции избирательных систем должны быть жесткими, экранированными для ослабления влияния емкостных связей с элементами, расположенными в непосредственной близости от катушек. При расположении элементов, узлов приемника на плате необходимо руководствоваться рекомендациями по жесткому

закреплению корпусов элементов (ИМС, транзисторов, конденсаторов и т. п.) на платах. С другой стороны, защиту аппаратуры от механических воздействий производят путем ее амортизации. Амортизационные рамы, на которые устанавливается аппаратура, выполняют по типовой конструкции, что облегчает компоновку аппаратуры на различных типах ЛА. Вибрационные нагрузки для радиоаппаратуры самолетов ГА допускаются от 2 до 10 g с частотой 3...400 Гц, ударные — от 2...3 до 12 g.

Высокий уровень шума в кабинах ЛА, достигающий 90...120 дБ, обуславливает определенные требования к выполнению низкочастотного тракта приемника и выбор оконечного устройства. Повышенный уровень шума, помимо ухудшения комфорта, отрицательно влияет на работоспособность экипажа и качество радиообмена. Шум в 90...100 дБ ослабляет внимание, затрудняет восприятие речевых сигналов.

В качестве оконечного устройства для приемников связи на борту ЛА применяют авиационную гарнитуру, например, типа АГЗ, включающую головные телефоны ТА-56 М и шумостойкий микрофон ДЭМШ-4А. Низкочастотный тракт приемника должен обеспечивать выходную мощность, близкую к максимальной для головных телефонов, а также содержать ручной регулятор громкости, располагаемый на размещаемом в кабине пилотов пульте дистанционного управления приемником.

2. СТРУКТУРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ РТС ЛА

2.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРИЕМНИКОВ

Основными факторами, влияющими на структурное построение приемников, являются требования ЭМС, стабильности частоты настройки, беспереходного и безнастрочного вхождения в связь, а также обеспечение заданной чувствительности приемника. Указанные факторы в подавляющем большинстве случаев предопределяют выбор супергетеродинной схемы приемника с однократным или многократным преобразованием частоты.

Приемники радиолокационных средств, работающие в диапазонах ДМВ, СМВ, ММВ, строятся в основном, по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты. Основное усиление сигналов и частотная избирательность реализуется на промежуточной частоте, выбираемой во много раз меньше частоты принимаемого сигнала. УПЧ приемников РЛ относятся к широкополосным, поэтому избирательные системы достаточно просто реализуются с помощью *LC*-контуров, а современные усилительные элементы (гибридные и полупроводниковые ИМС и транзисторы) позволяют получить требуемое усиление при ограниченном числе каскадов.

Для приемников узкополосных сигналов, работающих в диапазоне МВ и на более длинных волнах выбор количества преобразований частоты определяется следующими соображениями. Исходя из требований высокой избирательности по комбинационным каналам приема, промежуточную частоту (первую) выбирают достаточно высокой (порядка нескольких десятков мегагерц) — это позволяет применить простые и дешевые избирательные системы в преселекторе. Если в распоряжении разработчика имеются средства обеспечения основной избирательности приемника по соседнему каналу (ФСС) на указанной высокой частоте и активные элементы для тракта промежуточной частоты, дающие высокое усиление на каскад, то можно обойтись однократным преобразованием частоты. Это, в частности,

упрощает и перестройку приемника, и построение синтезатора частоты. Если указанных средств подобрать не удастся, то приходится применять двукратное или трехкратное преобразование частоты, понижая ее до такого значения, когда имеется возможность осуществить основную селекцию и усиление.

Совершенствование элементной базы усилительных устройств и разработка в последние годы узкополосных интегральных пьезофильтров, способных работать на высокой частоте [13], позволяют в ряде случаев перейти от более сложных схем приемников с многократным преобразованием частоты к более простым схемам.

Требование стабильности частоты настройки приемников обуславливает применение в гетеродинах приемников кварцевой стабилизации частоты. В приемниках, работающих на одной или нескольких фиксированных частотах, число кварцевых резонаторов соответствует числу рабочих частот, а гетеродины могут содержать умножители частоты.

В диапазоновых приемниках для формирования гетеродинирующих напряжений применяют схемы синтезаторов частоты, формирующих ряд колебаний (сетку частот) с заданным интервалом (разносом) между ними. Ширина разнеса между частотами определяет шаг дискретности при установке частоты принимаемых сигналов и зависит от используемого диапазона и требований, предъявляемых к приемнику.

При построении синтезаторов частоты приемников используется способ прямого и способ косвенного синтеза сетки частот. Первый способ основывается на многократном преобразовании частоты опорного сигнала и последующей фильтрации получаемых колебаний с помощью перестраиваемых фильтров. При косвенном синтезе выходной сигнал снимается с вспомогательного генератора плавного диапазона (ГПД), частота которого сравнивается с эталонной. Выявленная ошибка используется для компенсации погрешности частоты ГПД. В качестве опорного колебания используется сигнал с термостатированного кварцевого генератора, дающего высокую стабильность частоты. Прямой синтез по типу применяемых узлов можно отнести к аналоговым способам, косвенный синтез — к цифровым. Последний получает в настоящее время наибольшее распространение ввиду роста номенклатуры интегральных схем и повышения степеней их интеграции. Так, разработаны микросхемы, содержащие управляемые делители частоты, генераторы, управляемые напряжением, схемы фазовой автоподстройки частоты.

Некоторые особенности построения приемников связаны с конструкцией антенных систем и размещением блоков приемника на борту ЛА. В диапазонах ДКМВ, МВ, ДМВ в качест-

ве антенны часто используется штырь ограниченных размеров. Так на самолете Ту-154 для радиостанции ДКМВ, ГКМВ дальней связи используется антенна верхнего емкостного питания в виде штыря длиной около двух метров, устанавливаемого в передней части верхнего обтекателя киля в направлении полета [12] (см. рис. 3). Еще меньшие размеры антенн применяют на вертолетах и легких самолетах. Длина таких антенн оказывается много меньше четверти длины волны, а активная и реактивная составляющие полного сопротивления антенны в диапазоне рабочих частот изменяются в широких пределах. Кроме того, основной блок радиостанции располагается в отсеках, удаленных от ввода антенны на расстояние до нескольких десятков метров, и соединяется с ней коаксиальным кабелем.

Для согласования сопротивления кабеля и входного сопротивления антенны применяют антенно-согласующие устройства (АСУ), конструктивно выполняемые в виде отдельного блока, расположенного вблизи ввода антенны в корпус ЛА. АСУ содержит в своем составе согласующий контур последовательного типа с регулируемыми элементами — емкостью и индуктивностью — и датчики, которые производят анализ входного сопротивления антенны.

Датчик фазы оценивает реактивную составляющую сопротивления антенны, датчик модуля — величину модуля сопротивления относительно сопротивления кабеля. Датчики дают сигналы ошибки, которые служат для управления элементами согласующего контура, приводя к изменению его емкости и индуктивности. Настройка АСУ производится автоматически после установки каждого нового значения частоты работы радиостанции и заканчивается согласованием сопротивлений антенны и фидера.

Настройка приемника на требуемую частоту связи производится автоматически. Для этого в состав аппаратуры включается схема автоматической дистанционной настройки (АНД), обеспечивающая беспоисковое и бесподстроечное вхождение в связь. Схема АНД управляется с пульта дистанционного управления (ПДУ), который установлен в кабине пилотов и может быть удален от основного блока радиостанции на расстояние в несколько десятков метров.

Загруженность экипажа основными операциями по управлению ЛА требует максимально упрощенной работы с радиоаппаратурой, поэтому ПДУ содержит минимальное число органов ручного управления. К последним относятся, например, ручки набора цифр, соответствующих выбранному значению частоты приема на панели ПДУ, переключатель рода работ, регулятор громкости, кнопки контроля функционирования. Выход связно-

го приемника постоянно подключен к авиагарнитурам экипажа ЛА через щиток самолетного переговорного устройства. Переход связной радиостанции на передачу происходит при нажатии на кнопку, расположенную в легко доступном месте — на штурвале управления ЛА.

2.2. ПРИЕМНИКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ЛА

Повышение требований к чувствительности приемника и сужение его полосы может привести к усложнению схемы приемника за счет усложнения СВЧ-блока, являющегося наиболее дорогостоящим узлом. Однако улучшение характеристик приемника часто необходимо для уменьшения мощности передатчика или для упрощения антенной системы. Для бортовых систем это означает уменьшение энергоемкости, снижение массогабаритных характеристик, поэтому усложнение приемника при его проектировании часто считается вполне оправданной мерой.

Величина полосы пропускания приемника РЛ зависит от выбора элементов приемного и передающего трактов, определяющих нестабильность частоты. При использовании в авиационных РЛ магнетронных передатчиков и гетеродинов приемников без кварцевой стабилизации частоты приемлемым решением с точки зрения технико-экономических требований является использование в приемниках блоков АПЧ. АПЧ позволяет при больших нестабильностях частот сигнала и гетеродина ограничить увеличение полосы приемника относительно значения, определяемого спектральными составляющими сигнала, что способствует достижению высокой чувствительности приемника.

В качестве «классической» структурной схемы приемника импульсного РЛ на рис. 5 приведен пример построения приемного устройства МНРЛ «Гроза», устанавливаемого на борту самолетов ГА [16]. СВЧ-блок приемника содержит антенный переключатель $E1$, устройство защиты приемника $Z1$, преобразователь частоты, включающий смеситель $U1$ и гетеродин $G1$. Антенный переключатель (АП) позволяет использовать антенну как в режиме передачи — излучения зондирующих импульсов, так и при приеме отраженных сигналов. АП построен на ферритовых циркуляторах и кроме основной функции, являясь взаимным устройством, ослабляет влияние изменения выходного импеданса антенных при сканировании на последующие каскады.

Из-за неидеальности антенного переключателя часть мощности передатчика просачивается на вход приемника, что может

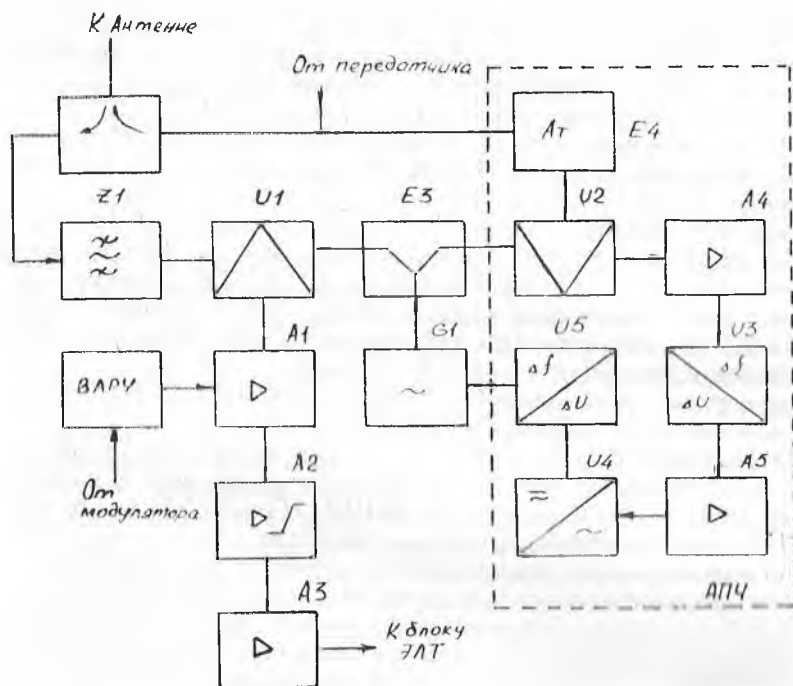


Рис. 5. Структурная схема приемника МНРЛ «Гроза»

привести к повреждению элементов смесителя $U1$. Устройство защиты входных каскадов приемника включает в себя разрядник защиты приемника (РЗП), который совмещает в себе функции предварительной частотной селекции сигнала. Чувствительность рассматриваемого приемника, равная -130 дБ·Вт (по пропаданию сигнала в шумах), обеспечивается без использования в СВЧ блоке УРЧ. Однако для построения более чувствительных приемников необходим УРЧ, позволяющий при малом значении коэффициента шума и достаточно большом усилении снизить коэффициент шума приемника. В бортовых РЛ получили распространение мал шумящие УРЧ на туннельном диоде (использован в одной из модификаций МНРЛ «Гроза»), на транзисторах (биполярных и полевых с барьером Шоттки), реже используются более дорогие, но самые мал шумящие среди бортовых устройств параметрические усилители. Транзисторные усилители успешно применяются в длинноволновой части СВВ и выше, и по мере совершенствования СВЧ-транзисторов вытес-

няют другие типы УРЧ, прежде всего из-за более высокой надежности, большего динамического диапазона входных сигналов, устойчивости и простоты построения усилителя в виде гибридной ИМС. В наземных РЛ обнаружение объектов для реализации высокой чувствительности, особенно в сантиметровом диапазоне волн, применяются многокаскадные УРЧ.

В аэродромных РЛ в качестве УРЧ все реже используют ЛБВ (например в РЛ ОПРЛ-4). В приемниках дальнего обнаружения применяют узкополосный преселектор для подавления шумов зеркального канала. Так в приемнике трассового РЛ *ATCR-22* с дальностью действия около 400 км фильтр преселектора имеет полосу пропускания $7 \pm 1,5$ МГц и обеспечивает подавление зеркального канала 60 дБ, УРЧ с коэффициентом шума 2,7 дБ, динамическим диапазоном 90 дБ и усилением 28 дБ размещен в фидерном тракте. В РЛ дальнего обнаружения объектов в ряде случаев применяются параметрические усилители с охлаждением до температуры жидкого азота.

Смесители приемников РЛ выполняют чаще всего по балансной схеме, позволяющей подавить шумы гетеродина и получить более высокую надежность. В МНРЛ «Гроза-154» отсутствует УРЧ, поэтому коэффициент шума смесителя U_1 (рис. 5) существенно влияет на чувствительность приемника. В балансных смесителях подавляются четные гармоники промежуточной частоты, что особенно важно для правильной работы АПЧ, где шумы гетеродина не опасны. Для повышения чувствительности приемника без введения малошумящего УРЧ применяют более сложную схему смесителя с фазовым подавлением зеркального канала приема и возвращением энергии зеркальной частоты, возникающей в смесителе. Такой прием реализован в МНРЛ «Градиент», что позволило увеличить, в сочетании с другими мерами (см. табл. 2), дальность обнаружения объектов по сравнению с базовым МНРЛ «Гроза».

Усилитель промежуточной частоты определяет полосу пропускания приемника и обеспечивает основное усиление сигнала. В приемниках обнаружения без УРЧ первые каскады УПЧ должны иметь малый коэффициент шума, что достигается использованием малошумящих транзисторов или ИМС и выбором специального режима каскадов (режима минимизации шумов).

Конструктивно УПЧ разбивают на предварительный УПЧ (ПУПЧ), размещаемый в непосредственной близости от смесителя, и основной УПЧ, размещаемый в основном блоке. В рассматриваемом приемнике ПУПЧ А1 работает в линейном режиме, имеет небольшое усиление (до 20 дБ) и охвачен регулировкой от узла ВАРУ Е2. Узел ВАРУ, запускаемый синхронно с импульсом излучения, осуществляет регулировку усиления

ПУПЧ после излучения импульса, а также обеспечивает задержание приемника на время действия импульса магнетронного передатчика. Основной УПЧ А2 выполнен с логарифмической амплитудной характеристикой по схеме с последовательным детектированием и суммированием выходных сигналов.

Видеоусилитель А3 обладает усилением, необходимым для нормальной работы блока обработки. В МНРЛ видеосигналы передаются на ЭЛТ яркостного типа, имеющую большой динамический диапазон яркости, поэтому видеоусилитель может содержать каскады восстановления (расширения динамического диапазона) амплитуд сигналов. В РЛ, реализующих цифровую обработку сигналов и дисплей телевизионного типа, видеоусилитель соединяется с аналого-цифровым преобразователем, являющимся входным устройством блока обработки.

Узел АПЧ содержит смеситель U_2 , на который поступают колебания гетеродина (через делитель мощности E_3) и колебания передатчика (через предельный аттенуатор E_4). С выхода U_2 импульсное напряжение разностной частоты усиливается УПЧ А4 и поступает на частотный детектор U_3 , формирующий видеоимпульсы, амплитуда которых пропорциональна отклонению разностной частоты от средней частоты настройки контуров U_3 , а полярность напряжения определяет сторону отклонения. После усиления в видеоусилителе А5 и пикового детектирования на детекторе U_4 формируется напряжение, поступающее на управитель А5, связанный с гетеродином G_1 . Таким образом при отклонении частот колебаний на входах U_2 формируется напряжение автоматической регулировки, пропорциональное отклонению промежуточной частоты приемника от номинального значения. Это напряжение воздействует на гетеродин, перестраивая его по частоте таким образом, чтобы свести к минимуму отклонение промежуточной частоты. Номинальные значения промежуточной частоты в основном тракте приемника и узле АПЧ равны между собой. Гетеродин G_1 питает через делитель мощности E_3 смеситель сигнала U_1 и смеситель узла АПЧ U_2 , поэтому АПЧ в случае отклонения частоты передатчика (его нестабильности) подстраивает приемник на прием колебания «своего» передатчика, а в случае нестабильности гетеродина компенсирует эту нестабильность.

Схема АПЧ присутствует во многих РЛ, однако для наземных РЛ—ОРЛ, трассовых РЛ построение АПЧ имеет особенности. Гетеродин приемников выполняется стабилизированным, например, с помощью высокочастотного объемного резонатора (РЛ посадки РП-3Г) или кварцевого резонатора (трассовый РЛ АТСР-22). Сигнал ошибки со схемы АПЧ поступает на управление частотой магнетронного передатчика. Точность под-

стройки в этом случае составляет $\pm 0,25$ МГц (при уходе частоты магнетрона ± 5 МГц).

Приемники аэродромных РЛ, используемых службами УВД, выполняют многоканальными. Обзорно-посадочные РЛ имеют канал глиссады и канал курса и отдельные тракты радио- и промежуточной частоты; система АПЧ — общая для обоих каналов (ОПРЛ-4). Трассовые РЛ (например «Скала») имеют 3 двухканальных приемника, аналогичных по схеме, но работающих на разных несущих частотах. Каждый из каналов служит для приема сигналов по разным лепесткам диаграммы направленности антенны, что позволяет повысить помехоустойчивость приема сигналов.

Особенностью построения аэродромных РЛ является наличие первичного канала приема зондирующих импульсов РЛ, вторичного канала приема импульсов самолетных ответчиков (СО) и канала подавления боковых лепестков диаграммы направленности антенны.

Канал подавления имеет свою антенну, закрепленную на отражателе основной антенны. Приемно-усилительный тракт подавления совмещен с трактом вторичного канала. Выходные сигналы приемника поступают на каскады совпадения, где выделяются сигналы, принятые главным лучом антенны.

Чувствительность вторичного канала выбирается меньше первичного и составляет по нормам ИКАО не более -120 дБ·Вт, что позволяет исключить из структуры приемника УРЧ.

К импульсным приемникам относятся приемные устройства СО системы УВД. Такой приемник строится по схеме с одним преобразованием частоты для работы на фиксированной частоте. Последнее облегчает выполнение требования частотной точности путем использования кварцованного гетеродина с последующим умножением частоты. Приемники СО принимают зондирующие импульсы аэродромных РЛ большой мощности при расстояниях от 1,85 до 370 км (норма ИКАО), поэтому их чувствительность выбирается не высокой (не более -105 дБ·Вт), однако динамический диапазон сигналов оказывается большим (достигает 50 дБ). Приемные устройства СО выполняются без УРЧ, особенностью УПЧ является использование усилителей со сжатием динамического диапазона сигналов, например, усилителей с логарифмической амплитудной характеристикой. Приемник СО (рис. 6) содержит преселектор, включающий антенный переключатель S_1 , выполненный на частотно-разделительном тройнике, и входной полосно-пропускающий фильтр Z_1 . Преселектор защищает приемник от помех и просачивания мощности своего передатчика; при приеме сигнала запроса на частоте 1030 МГц его полоса не более 10 МГц, а избирательность при расстройке

на 25 МГц — не менее 60 дБ. Сигнал с преселектора подается на смеситель $U1$, выполненный по одноканальной схеме. Гетеродин приемника состоит из кварцевого генератора $G1$ на частоту 47,9 МГц, а также каскадов умножения на 3 — $U2$ и на 7 — $U3$, разделенных буферным усилителем $A1$. $U3$ конструктивно расположен в преселекторе [3].

Промежуточная частота выбрана равной 24,4 МГц, полоса пропускания УПЧ равна 7...8,5 МГц. Первые три каскада УПЧ — линейные, каскады $A5$ (с 4 по 8) выполнены по схеме с логарифмической амплитудной характеристикой, формируемой по методу последовательного детектирования и сложения сигналов. Детектирование сигналов после 4, 6, 8 каскадов осуществляется с помощью импульсных детекторов $U4—U6$, на выходе которых установлены видеусилители $A6—A8$, выходы которых подключены к различным выводам суммирующей линии задержки $L1$. Использование линии задержки позволяет при суммировании видеосигналов уменьшить искажения, связанные с временем установления усилительных каскадов $A5$.

Линия задержки нагружена на эмиттерный повторитель $A9$, служащий выходным каскадом приемника. Далее сигнал поступает в устройство декодирования запроса и в передающий тракт для формирования ответного сигнала.

Приемное устройство радиовысотомера относится к приемникам непрерывного СВЧ-излучения. Оно построено по схеме

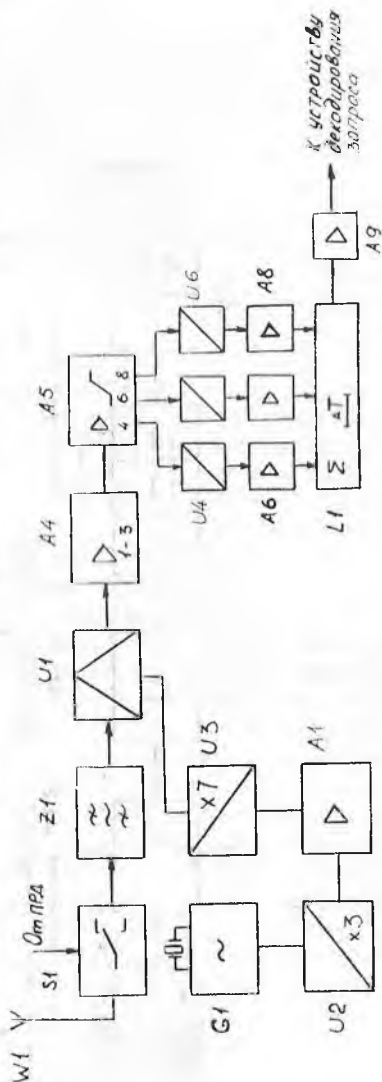


Рис. 6. Структурная схема приемника самолетного ответчика

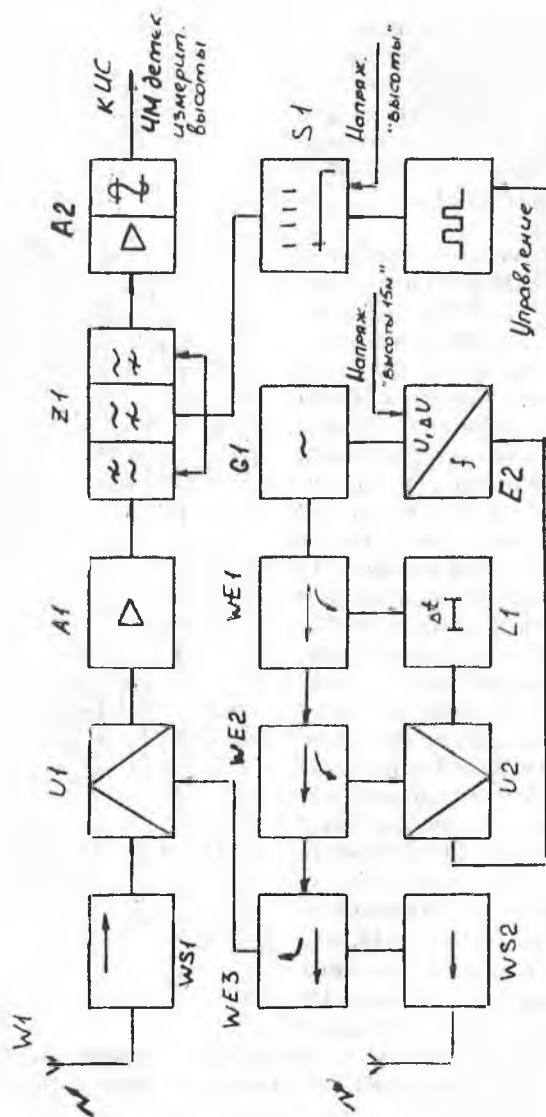


Рис. 7. Структурная схема приемника радиовысотомера малых высот

супергетеродина с прямым преобразованием частоты (рис. 7). В этой схеме в качестве колебаний гетеродина используется часть излучаемых колебаний сигнала, а напряжение с выхода смесителя поступает в тракт низкой частоты. Приемник обладает низкой чувствительностью (около -90 дБ·Вт), поэтому его преселектор содержит только развязывающий вентиль $E1$ [24]. Вентиль ослабляет проникновение колебаний гетеродина в приемную антенну $W1$ и таким образом исключает возникновение паразитного сигнала от сочленения кабеля с антенной. Полоса приемника определяется фильтрами низкочастотного тракта, а зеркальный канал и многие другие высокочастотные дополнительные каналы приема при данном построении схемы отсутствуют.

Повышению помехоустойчивости способствует использование в качестве диодного смесителя $U1$ балансной схемы. С выхода смесителя $U1$ колебания разностной частоты, несущие информацию о высоте, поступают на предварительный усилитель $A1$ низкочастотного тракта РВ. Усилитель $A1$ имеет частотную характеристику с подъемом на высоких частотах в 6 дБ на октаву для компенсации ослабления отраженного сигнала с ростом высоты. Полоса усиления от 1...2 до 160 кГц охватывает весь диапазон измеряемых высот. Общее усиление $A1$ на частоте 160 кГц составляет 55 дБ. Сигнал с $A1$ поступает на усилитель разностной частоты, включающий блок управляемых фильтров $Z1$ и усилитель ограничитель $A2$. Блок управляемых фильтров служит для уменьшения мощности помех (шумов) и повышения точности РВ. Фильтр верхних частот служит для подавления низкочастотных помех (например, для РВ-5 на частотах менее 1 кГц при измерении малых высот, менее 10 кГц при измерении больших высот; в РВ-5 частота 1 кГц соответствует высоте 5 м). Фильтры нижних частот снижают помехи при измерении малых высот. Схема переключения фильтров $S1$ управляется напряжением «высоты» и формирует требуемую частотную характеристику $Z1$, обеспечивающую малую погрешность высоты. При включении РВ, когда неизвестна высота и, следовательно, требуемое значение полосы, схема поиска $E1$ переключает $S1$, «просматривая» весь участок (1...160 кГц для РВ-5) частот, где возможно появление разностного сигнала с выхода смесителя $U1$.

С выхода ограничителя $A2$ прямоугольные колебания поступают на импульсно-счетный частотный детектор, формирующий напряжение «высоты», поступающее на индикаторное устройство, расположенное в кабине пилота. Для уменьшения погрешности измерения высоты, обусловленной нестабильностью частоты генератора передающего устройства $G1$, приемник содержит

жит канал АПЧ, включающий направленный ответвитель $WE1$, эталонную линию задержки $L1$, смеситель $U2$ и схему измерения и сравнения $E2$. Величина задержки $L1$ выбирается соответствующей высоте 15 м. Принцип действия АПЧ заключается в поддержании величины напряжения, определяемого по каналу АПЧ, равной номинальному напряжению, соответствующему высоте 15 м в канале приема.

2.3. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ЛА

Бортовые приемники радиомаячной системы посадки самолетов, работающие в диапазоне МВ, должны удовлетворять высоким требованиям избирательности, частотной точности и надежности приема навигационных сигналов посадки. Относительно небольшой радиус действия и выбор достаточной мощности излучения наземных маяков несколько снижают требования к чувствительности приемников. Особенностью курсового и глиссадного приемников являются также высокие требования к АРУ, необходимые для снижения погрешностей определения навигационных параметров. Курсовые радиоприемники обладают более узкой полосой пропускания, чем глиссадные приемники и имеют большее число частот настройки (КРП—200 частот, ГРП—20). Этим обусловлено более сложное построение КРП; чаще всего это приемник с двойным или тройным преобразованием частоты, тогда как ГРП может быть выполнен с одним преобразованием частоты.

Структурная схема КРП системы посадки «Курс МП-70» приведена на рис. 8. Преселектор приемника состоит из входных цепей $Z1$ и резонансного УРЧ $A2$, обеспечивающих подавление зеркальных и других комбинационных каналов приема не менее чем на 75 дБ. Выполнение этого требования облегчает выбор относительно высокого значения первой промежуточной частоты — 18,5 МГц. Избирательные цепи $Z1$ и $Z2$, содержащие варикапы, перестраиваются при смене частоты приема в диапазоне 108,25...117,75 МГц с помощью матрицы электронной перестройки $E1$ на 20 фиксированных частот с интервалом 0,5 МГц. Смеситель $U1$ соединен с гетеродином—синтезатором частоты $G1$, построенным по схеме косвенного синтеза с фазовой АПЧ, и эталонным кварцевым генератором. Установка частоты приема осуществляется путем смены частоты гетеродина, обладающего заданной частотной точностью. В качестве фильтра первой промежуточной частоты выбран кварцевый ФСС $Z3$. После усиления в $A3$ происходит дальнейшее понижение частоты в преобразователе второй промежуточной, содержащей смеситель $U2$ и кварцевый гетеродин $G2$. На второй промежуточной частоте выб-

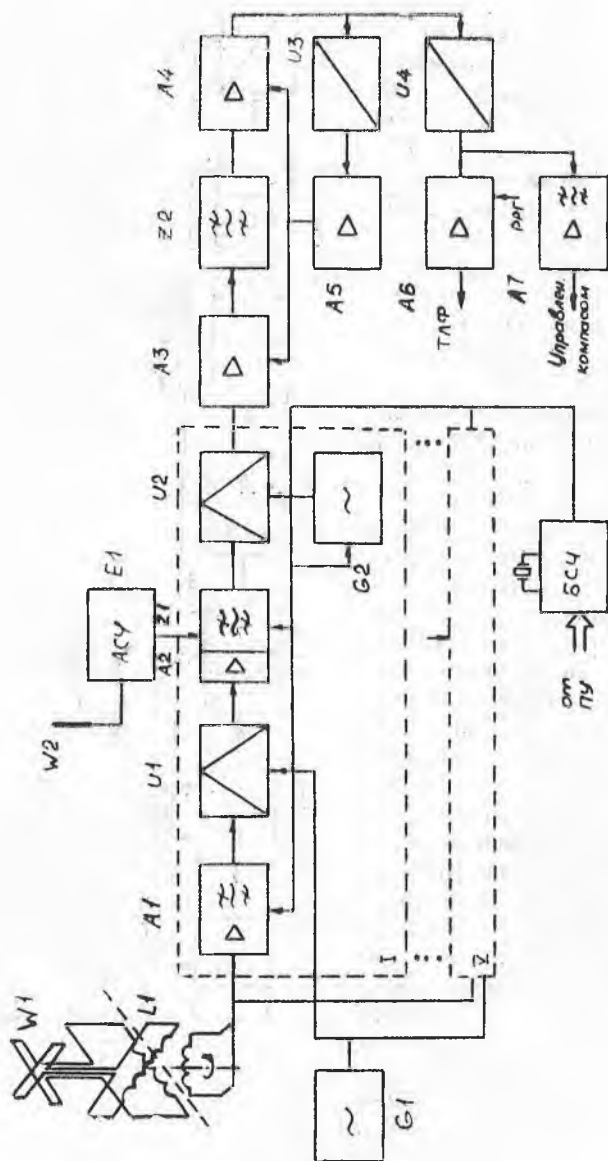


Рис. 9. Структурная схема приемника автоматического радиоконписа.

пульте управления АРК. Модуль высокой частоты, служащий для преобразования сигналов приводной радиостанции, поступающих с рамочной $W1$ и ненаправленной $W2$ антенн в амплитудно-модулированный сигнал, содержит усилитель сигнала рамки $A1$, балансный модулятор $U1$, питающийся от генератора 135 Гц $G1$, усилитель с фильтром $A2$. Преобразование осуществляется путем сложения балансно-модулированного сигнала с рамки и сигнала с антенны $W2$. При этом образуется колебание, в котором напряжение с $W2$ выступает в качестве опорного, а напряжение с $W1$ — в качестве модулирующего. Таким образом, глубина модуляции определяется направлением на пеленг ($m=0$ при направлении на пеленг), а фаза указывает на сторону отклонения. Усилитель $A1$ необходим для выравнивания сигналов на контуре сложения в $A2$, так как действующая высота рамочной антенны невелика ($h_d = 10...20$ мм). Антенна $W2$ соединяется с приемником через антенно-согласующее устройство $E1$, необходимое для передачи сигнала от антенны (в различных типах ЛА) с различной действующей высотой. Для обеспечения необходимой избирательности по дополнительным каналам приема $A2$ содержит 3-контурный, переставляемый с помощью варикапов, фильтр $Z1$. С выхода $Z1$ сигнал поступает на кольцевой диодный смеситель $U2$, подключенный к гетеродину $G2$. Настройка гетеродина — «верхняя», т. е. его частота выше частоты принимаемого сигнала на величину промежуточной частоты (500 кГц). Частотноизбирательные цепи модуля ВЧ, а также колебательные цепи гетеродина, содержащие варикапы, управляются при перестройке приемника напряжением, формируемым в блоке сетки частот $E2$. Этот блок представляет собой синтезатор частоты, выполненный по схеме косвенного синтеза с делителем с переменным коэффициентом деления в цепи фазовой автоподстройки частоты относительно частоты эталонного кварцевого генератора. Точность установки частоты в приемнике ± 100 Гц.

УПЧ приемника обеспечивает усиление сигнала на промежуточной частоте и формирование полосы пропускания приемника. Он включает усилитель $A3$, охваченный АРУ, электромеханический фильтр $Z2$ и выходной усилитель $A4$, также охваченный АРУ, АРУ осуществляется с помощью управляемых диодных делителей напряжения, устанавливаемых после первого каскада в $A3$ и в $A4$. После усиления в УПЧ сигнал поступает на транзисторные детекторы: $U3$ — детектор АРУ, $U4$ — детектор сигнала. Цепь АРУ выполнена с усилением $A5$ и задержкой срабатывания по напряжению.

Низкочастотный тракт приемника включает телефонный канал для прослушивания позывных приводных радиостанций и

компасный канал для управления двигателем вращения рамки (автоматическая установка в направлении пеленга) и указателя курса прибора. Телефонный канал содержит усилитель А6 с полосой 100...1200 Гц, включающий ручной регулятор усиления по схеме межкаскадного управляемого делителя напряжения, и усилитель мощности. Компасный канал является усилителем рассогласования схемы автоматического управления. Он содержит узкополосный усилитель частоты модуляции (135 Гц) с полосой 30...40 Гц, выполненный по схеме активного фильтра с двойным Т-образным мостом, и усилитель мощности.

Структурная схема приемника прямого усиления глобальной навигационной системы «Омега» изображена на рис. 10. Антен-

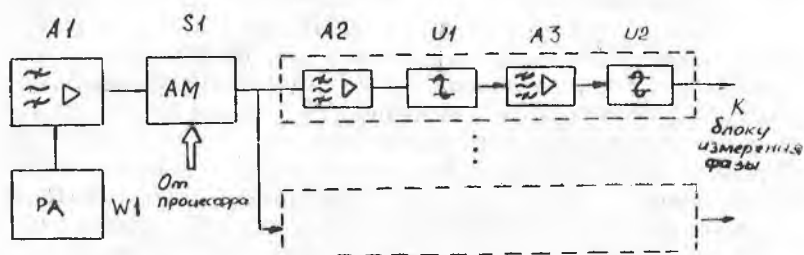


Рис. 10. Структурная схема приемника системы «Омега»

ная система $W1$ состоит из двух взаимно перпендикулярных рамочных антенн, переключение которых с помощью антенной матрицы, управляемой процессором, позволяет сорентировать максимум диаграммы направленности $W1$ в направлении принимаемой опорной станции. Использование направленной антенны позволяет осуществить пространственную избирательность приемника по отношению к помехам и тем самым повысить его чувствительность. Усилитель радиочастоты $A1$ служит для снижения коэффициента шума приемника и устанавливается непосредственно у рамочных антенн [20]. Полоса пропускания усилителя охватывает все частоты опорных станций (от 10,2 до 13,6 кГц). Канальные усилители построены по схеме ШОУ (широкополосный усилитель $A2$ с полосой 600 Гц, амплитудный ограничитель $U1$, узкополосный усилитель $A3$ с полосой 100 Гц, обеспечиваемой электромеханическими или пьезокерамическими фильтрами, выходной ограничитель $U2$). Ограничители $U1, U2$ служат для уменьшения динамического диапазона сигналов, подаваемых на блок измерения и снижения уровня помех.

По схеме прямого усиления построен приемник навигационной системы «Лоран-С» (рис. 11), работающий на фиксированной частоте 100 кГц. В качестве антенной системы $W1$ для лег-

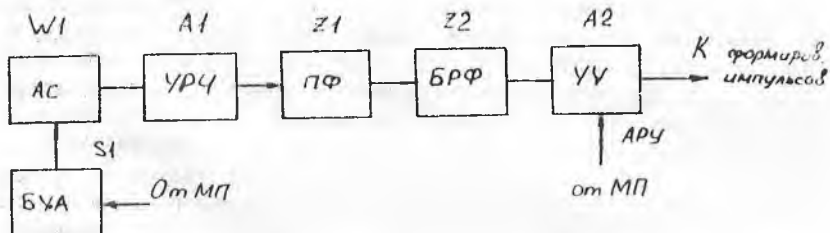


Рис. 11. Структурная схема приемника системы «Лоран-С»

ких самолетов используется штыревая антенна, для высокоскоростных ЛА применяются две невыступающие антенны, расположенные в верхней и нижней частях фюзеляжа. Блок управления антенной $S1$ по команде от микропроцессора переключает диаграмму направленности $W1$. УРЧ $A1$ имеет широкую полосу (до нескольких мегагерц), динамический диапазон от 0,2 до 10^4 мкВ и коэффициент передачи, близкий к единице. Входной полосовой фильтр $Z1$ настроен на несущую частоту и имеет полосу пропускания 40 кГц. Режекторные фильтры $Z2$ обеспечивают необходимую избирательность за полосой пропускания, они настраиваются на частоты 88 и 116 кГц. Усилитель $A2$ имеет усиление 30 дБ, полосу 30 кГц и охватывает АРУ, управляемой от микропроцессора.

Аналоговый тракт мультиплексируемого приемника процессора бортовой аппаратуры спутниковой навигационной системы «Навстар» построен по схеме с двойным преобразованием частоты (рис. 12) [2].

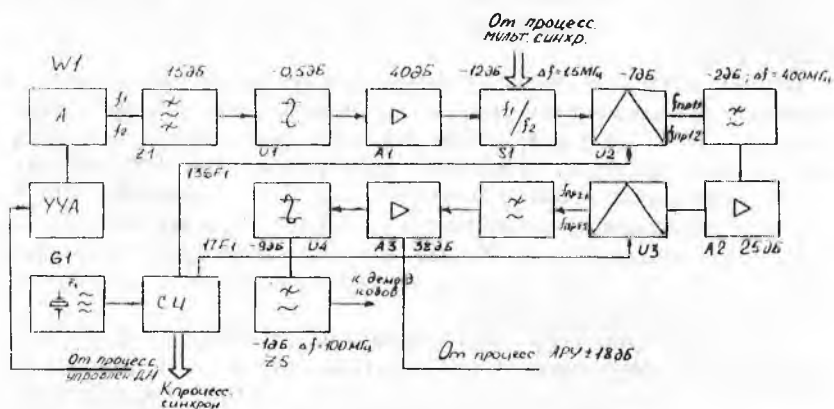


Рис. 12. Структурная схема трактов радио- и промежуточных частот приемника-процессора системы «Навстар»

Выбор структуры высокочастотного тракта приемника отвечает решению трех основных задач: упрощение конструкции, особенно в части синтеза частот, исключение влияния собственных помех и обеспечение формирования простого набора опорных импульсов синхронизации. Для решения второй и третьей задач частота опорного генератора выбрана $F_1 = 10,2304$ МГц со сдвигом на 400 Гц относительно тактовой частоты кода $F_0 = 10,23$ МГц. Нестабильность частоты опорного генератора $G1 — 1 \cdot 10^{-8}$ (кратковременная — 1 с), $5 \cdot 10^{-7}$ (долговременная — 1 месяц).

Антенные устройства $W1$ обеспечивают прием сигналов от всех спутников, расположенных в зоне радиовидимости, и могут содержать блоки управления диаграммой направленности. Одна из простейших антенн — коническая спираль с фиксированной диаграммой направленности, содержащая встроенный блок предусилителя. Для повышения помехоустойчивости используют антенны, обеспечивающие пространственную избирательность. При управлении диаграммой направленности антенны возможны два режима работы: наведение луча на спутник и адаптивное наведение минимума диаграммы направленности антенны на помеху. Первый вариант имеет недостатки, так как для формирования узких диаграмм направленности в ДМ-диапазоне волн требуются большие величины раскрыва антенной решетки. В адаптивных антеннах минимум диаграммы направленности ориентируется в направлении на источник сильных помех. При использовании девятиэлементной адаптивной антенны выходные сигналы нескольких элементов складываются так, чтобы минимизировать суммарную мощность помех на входе приемника; это позволяет подавить сильную помеху до уровня теплового шума (эффективность подавления помехи оценивается в 50 дБ и более) [15].

Выбор значений промежуточных частот обусловлен необходимостью использования тракта при приеме двух несущих колебаний $f_1 = 1575$ МГц и $f_2 = 1228$ МГц без переключений в цепях синтезатора частоты. Первый преобразователь $U2$ работает с «верхней» настройкой гетеродина для f_2 и «нижней» для f_1 , при этом значения промежуточных частот будут отличаться на $34 F_0$ и попадут в полосу $Z2$. При втором преобразовании частоты разница промежуточных частот оказывается достаточно малой — $34 (F_1 - F_0)$.

Цифровой процессор приемника синхронизируется высокостабильным генератором $G1$. Обратные связи по цепям управления приемником замыкаются через процессор. Это относится к устройству управления диаграммой направленности антенны (УУА), устройствам мультиплексирования $S1$ сигналов и селек-

ции частот f_1 и f_2 , цепям АРУ, охватывающим АЗ и работающим по среднему квадратическому уровню шума.

2.4. БОРТОВЫЕ ПРИЕМНИКИ СРЕДСТВ СВЯЗИ ЛА

УКВ-радиостанция «Баклан» предназначена для ведения симплексной радиосвязи экипажами ЛА ГА между собой и с диспетчерами службы УВД. Радиостанция собрана по трансиверной схеме с амплитудной модуляцией АЗ. Синтезатор частоты используется в режиме приема как источник гетеродина напряжения, а в режиме передачи — как возбудитель передатчика. Особенностью схемы является применение синтезатора дискретной сетки частот гетеродинирующих напряжений, построенного по способу косвенного синтеза с использованием делителя частоты с переменным коэффициентом деления и системы ФАПЧ по опорному генератору с одним кварцевым резонатором.

Выбор частоты связи осуществляется установкой цифр, соответствующих значению частоты в целых, десятых, сотых и тысячных долях мегагерца. Установка цифр производится с помощью двух ручек, размещенных на ПДУ, расположенном в кабине пилотов.

Приемник радиостанции «Баклан» выполнен по супергетеродинной схеме соднократным преобразованием частоты (рис. 13); в нем применена современная элементная база — узкополосные высокочастотные кварцевые фильтры, полевые МОП-транзисторы, интегральные микросхемы. Напряжение с антенны $W1$ через переключатель $S1$ «прием—передача» поступает на двухконтурную входную цепь $Z1$, выполненную по схеме с внутрииндуктивной связью между контурами. УРЧ $A1$ — однокаскадный. Он нагружен на двухконтурный полосовой фильтр $Z2$. Избирательные системы $Z1$ и $Z2$ перестраиваются с помощью варикапов. Управляющие напряжения на варикапы подаются с матрицы электронной перестройки $E2$, которая управляется кодом с ПДУ $S2$.

УРЧ $A1$ собран на полевом МОП-тетраде, что позволяет существенно ослабить внеполосные и интермодуляционные каналы приема, а также снизить собственные шумы приемника, которые в используемом диапазоне частот определяют чувствительность приемника (внешние помехи незначительны). УРЧ обеспечивает эффективное усиление приходящего сигнала в полосе частот 1 МГц. С нагрузки УРЧ сигнал поступает на смеситель $U1$, на другой вход которого поступает гетеродинирующее напряжение с синтезатора частоты $E1$. Частота гетеродина изменяется дискретно через 25 кГц при установке частоты приема с ПДУ $S2$.

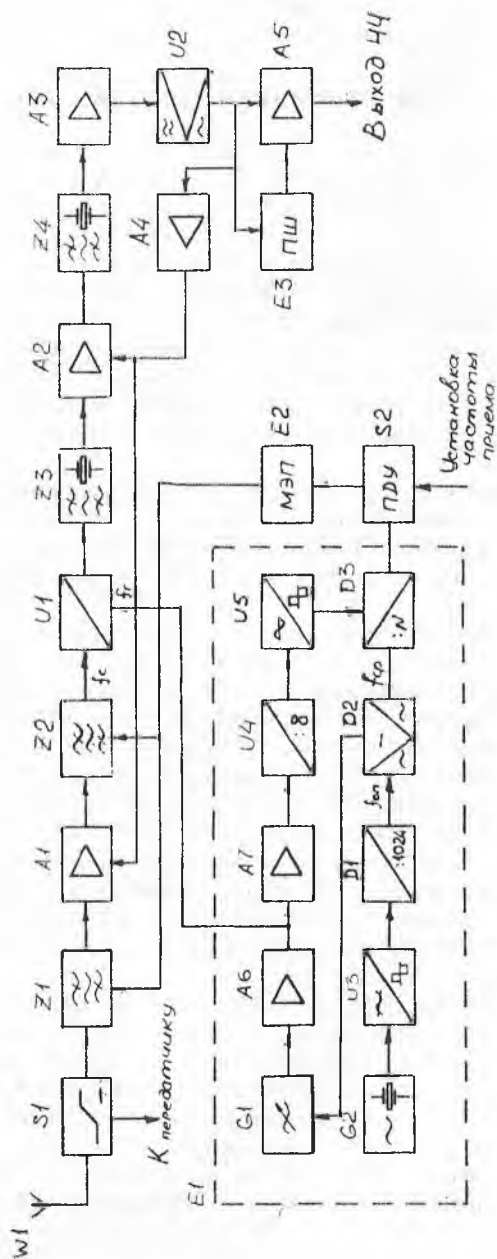


Рис. 13. Структурная схема приемника радиостанции «Баклан»

Нагрузкой смесителя является кварцевый полосовой фильтр $Z3$, настроенный на промежуточную частоту 20 МГц с полосой пропускания 18 кГц. Смеситель собран на полевом МОП-транзисторе, что дополнительно позволяет ослабить комбинационные каналы приема.

УПЧ обеспечивает основное усиление на промежуточной частоте. Он содержит двухкаскадный одноконтурный усилитель $A2$ на МОП-транзисторах и двухкаскадный одноконтурный усилитель $A3$ на биполярных транзисторах. Нагрузкой $A2$ является широкополосный кварцевый фильтр $Z4$, обеспечивающий дополнительную селекцию сигнала. Сигнал с выхода УПЧ поступает на детектор $U2$, напряжение с которого подается на вход УНЧ $A5$, схему подавителя шума $E3$, а также цепь АРУ. АРУ необходима для стабилизации уровня выходных сигналов приемника при изменении амплитуды входных сигналов. Схема АРУ выполнена усиленной ($A4$) и охватывает УРЧ ($A1$) и два первых каскада УПЧ ($A2$). Такая схема обеспечивает динамический диапазон АРУ около 80 дБ. УНЧ обеспечивает подключение на выходе приемника авиационной гарнитуры АГ-3.

Рассмотрим построение синтезатора частоты $E1$. Генератор плавного диапазона $G1$ генерирует частоты 138...155,975 МГц в зависимости от величины постоянного напряжения, подаваемого на его управляющий вход, с шагом дискретности 25 кГц. Напряжение с $G1$ усиливается широкополосным усилителем $A6$, и с его выхода поступает в смеситель приемника. Частота $G1$ подстраивается схемой фазовоимпульсной АПЧ. С этой целью колебания $G1$ с выхода $A6$ подаются на буферный усилитель $A7$ и далее на высокочастотный делитель частоты $U4$ с постоянным коэффициентом деления, давным 8. Формирователь $U5$ преобразует синусоидальные колебания в прямоугольные, которые подаются на делитель частоты $D3$, где любая частота $G1 - f_{G1}$ понижается до частоты сравнения f_{cp} , которая выбрана равной 6,25 кГц. Выбор f_{cp} производится следующим образом. С одной стороны,

$$f_{cp} = f_{G1} / m_d N_d, \quad (5)$$

где $m_d = 8$, N_d — коэффициент деления.

С другой стороны,

$$f_{cp} = \Delta f / m_d K, \quad (6)$$

где $\Delta f = 25$ кГц — шаг сетки частоты; $K = 0,5$ — дробный коэффициент деления $D3$.

Частота сравнения подается на один из входов частотно-фазового детектора $D2$. На второй вход $D2$ подается опорная частота $f_{оп}$, пониженная до частоты сравнения с помощью делителя $D1$. Коэффициент деления $D1$

$$n_d = f_{\text{эт}}/f_{\text{ср}}, \quad (7)$$

где $f_{\text{эт}}$ — частота эталонного генератора $G2$.

В схеме синтезатора в качестве $G2$ используется кварцевый термостабилизированный автогенератор с частотой 6,4 МГц, таким образом $n_d = 1024$.

Если частота, подаваемая на $D2$ со стороны $G1$, не равна частоте сравнения в силу влияния дестабилизирующих факторов на $G1$, то на выходе частотно-фазового детектора появится сигнал рассогласования. Он подается через фильтр нижних частот, входящий в состав $D2$, на управляющий вход генератора $G1$ и, воздействуя на реактивный элемент — варикап генератора, изменяет частоту $G1$ так, что выходная частота, поступающая с $D3$, становится равной частоте сравнения.

Условие сравнения частот выражается равенством

$$f_{\text{эт}}/n_d = f_{G1}/m_d N_d. \quad (8)$$

Подставив числовые значения, приведенные выше, получим

$$f_{G1} = 50 N_d \text{ кГц}. \quad (9)$$

Таким образом, для обеспечения всего диапазона гетеродирующих частот коэффициент деления $D3$ должен изменяться от $N_{d\text{мин}} = 2760$ до $N_{d\text{макс}} = 3119,5$ с шагом 0,5. Установка требуемого коэффициента деления $D3$, т. е. требуемой частоты настройки приемника, осуществляется набором цифр, соответствующих значению выбранной частоты на ПДУ ($S2$), и передачей соответствующего кода с ПДУ на $D3$. Устройства $D1$ — $D3$ выполнены на цифровых интегральных схемах серий 133, 134, 136, что позволяет реализовать синтезатор частоты в виде малогабаритной конструкции.

Радиостанция «Ядро» предназначена для ведения дальней радиосвязи экипажами ЛА ГА с диспетчерами службы УВД. радиостанция работает в телефонных режимах АМ (АЗЕ) и ОМ (JЗЕ) и телеграфном (А1А). Радиостанция выполнена по трансиверной схеме. Приемник радиостанции построен по супергетеродинной схеме с трехкратным преобразованием частоты (рис. 14); величина первой промежуточной — 93,5 МГц, второй — 35,5 МГц, третьей — 500 кГц. Высокое значение первой промежуточной частоты позволило применить простой неперестраиваемый преселектор, содержащий ряд переключаемых полосовых фильтров.

В приемнике применен декадный синтезатор частоты, дающий дискретную сетку частот с шагом 100 Гц. Синтезатор построен по способу косвенного синтеза с использованием делителя с переменным коэффициентом деления и фазовой автопод-

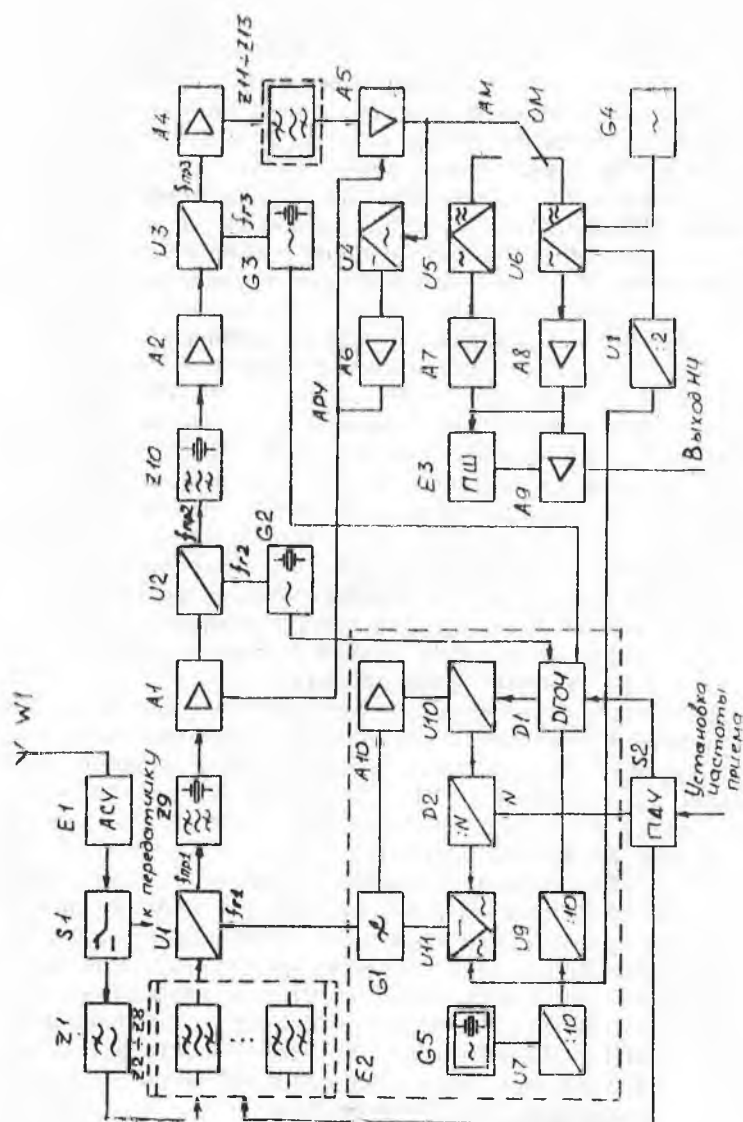


Рис. 14. Структурная схема приемника радиостанции «Ядро»

стройки частоты. В качестве опорного используется термостатированный кварцевый генератор. Интересной особенностью приемника является наличие встроенной системы контроля, которая позволяет оценить исправность сквозного тракта приема.

Напряжение с антенны $W1$ поступает на АСУ $E1$, позволяющее автоматически согласовывать комплексное сопротивление антенны с волновым сопротивлением кабеля, соединяющего вход радиостанции и антенну. С выхода АСУ сигнал через переключатель $S1$ «прием—передача» поступает на вход фильтра нижних частот $Z1$, обеспечивающего ослабление колебаний на частотах 100...150 МГц. Затухание в полосе заграждения составляет не менее 50 дБ, в полосе пропускания — не более 1,5 дБ, что обеспечивает ЭМС радиостанции с средствами связи МВ, расположенными на борту.

Преселектор приемника состоит из набора полосовых фильтров $Z2—Z8$, делящих диапазон принимаемых сигналов на поддиапазоны: 2—3, 3—4, 4—6, 6—8, 8—12, 12—18 МГц. Фильтры коммутируются диодными ключами, входящими в их состав, и управляются схемой выбора поддиапазонов с ПДУ $S2$. С выхода входной цепи сигнал поступает на вход первого смесителя $U1$. Одновременно на $U1$ подается напряжение первого гетеродина с частотой 75,5...91,5 МГц от генератора плавного диапазона $G1$ синтезатора частоты $E2$. Смеситель $U1$ является первым активным каскадом приемника, определяющим внутренние шумы последнего и его восприимчивость по неосновным каналам приема — поэтому первый смеситель собран по балансной схеме на полевых транзисторах.

Преобладание внешних помех над собственными шумами в диапазоне принимаемых сигналов, а также опасность усиления внеполосных каналов приема сделали нецелесообразным применение в приемнике УРЧ. Нагрузкой $U1$ служит кварцевый фильтр $Z9$, настроенный на первую промежуточную частоту, выбранную величиной 93,5 МГц.

Выбор относительно высокого значения $f_{пр1}$ позволил применить в приемнике простой неперестраиваемый преселектор, что обеспечило избирательность по зеркальным каналам приема более 60 дБ. Кроме того, коэффициент перекрытия первого гетеродина оказался небольшим (1,2), что упростило построение синтезатора частоты. С выхода $Z9$ сигнал подается на однокаскадный УПЧ-1 $A1$ и далее на второй смеситель $U2$. Одновременно на $U2$ с кварцевого генератора $G2$ подается напряжение второго гетеродина с частотой 58 МГц.

Сигнал второй промежуточной частоты, полученный в результате вычитания сравниваемых частот, выделяется кварцевым фильтром $Z10$, настроенным на частоту 35,5 МГц. Далее следует одно-

каскадный УПЧ-2 А2, с которого сигнал $f_{\text{пр2}}$ поступает на вход третьего смесителя У3. На У3 с кварцевого генератора G3 поступает напряжение третьего гетеродина частотой 36 МГц. Полученное в результате вычитания напряжение третьей промежуточной частоты 500 кГц поступает на однокаскадный усилитель А4 и далее на блок электромеханических фильтров Z11—Z13 с различной полосой пропускания, включаемых в зависимости от выбранного вида работы. Для получения высокой стабильности частоты приема фильтры Z11—Z13 размещены в термостате, где поддерживается постоянная температура $+75 \pm 2^\circ\text{C}$.

Сигнал с частотой $f_{\text{пр3}}$ поступает на трехкаскадный УПЧ-3 А5, где происходит основное усиление сигнала. УПЧ А5 выполнен резонансным на полевых транзисторах, с его выхода сигнал поступает на детектор АРУ У4. Цепь АРУ, содержащая усилитель постоянного тока А6, охватывает УПЧ-1 А1 и УПЧ-3 А5. В зависимости от выбранного вида работы с помощью S3 включается детектор АМ У5 или детектор ОМ У6. В режиме ОМ на детектор У6 подается опорный сигнал (восстановленная несущая) частотой 500 кГц с синтезатора частоты. Для приема сигнала А1А используется тональный генератор G4, дающий на выходе детектора бинария звуковой частоты.

Тракт низкой частоты содержит усилительные каскады А7—А9, а также ПШ Е3. ПШ содержит в своем составе два канала: первый, образованный ФНЧ, с частотой среза 400...800 Гц и второй, образованный ФВЧ, с частотой среза 800...1400 Гц. В каждом канале имеется детектор, дающий напряжение, пропорциональное речевым сигналам (I канал) и шуму (II канал). Напряжения с выходов обоих каналов ПШ подаются на схему сравнения, которая формирует напряжение, запирающее А9 при отсутствии речевых сигналов на частоте приема.

Синтезатор частоты Е2 приемника содержит термостатированный кварцевый генератор G5 с частотой 10 МГц. В результате последовательного деления с помощью делителей У7 и У8 получается частота 500 кГц, используемая в детекторе ОМ как опорная.

На выходе делителя частоты У9 образуется частота 100 кГц, которая поступает в декадный генератор опорных частот Д1. В Д1 образуется сетка из 10 смежных гармоник колебаний с частотами, кратными 10 (100 кГц, 10 кГц, 1 кГц, 100 Гц). Выбор одной из гармоник осуществляется с помощью переключателей на 10 положений, пронумерованных от 0 до 9. Эти переключатели обозначают как « $\times 100$ кГц», « $\times 10$ кГц» и т. д., с их помощью происходит установка частоты приема — цифры, набранные на переключателях в каждой декаде, соответствуют цифровому значению частоты приема. Выбранные таким обра-

зом гармоник суммируются с частотами $f_{г2}$ и $f_{г3}$ и дают в результате сетку частот 90,5...97,5 МГц с шагом в 100 Гц.

С выхода $D1$ колебания выбранной частоты поступают на смеситель $U10$, на который через усилитель $A10$ подаются колебания генератора плавного диапазона $G1$. В результате на выходе $U10$ образуется напряжение с частотой 6...15 МГц, поступающее на делитель с переменным коэффициентом деления $D2$. Коэффициент деления $D2$ устанавливается в соответствии с выбранным значением частоты приема на ПДУ $S2$ в пределах от 6 до 15.

Таким образом, на фазовый детектор $U11$ с одной стороны подается колебание частотой 1 МГц с основной нестабильностью, определяемой генератором $G1$, с другой стороны — высокостабильное колебание с генератора $G5$. На выходе фазового детектора $U11$ образуется сигнал рассогласования, который через ФНЧ подается на управляющий элемент (варикап) $G1$. Система ФАПЧ будет подстраивать частоту генератора $G1$ до тех пор, пока та не станет равной заданному значению.

Получение заданной нестабильности частоты ($\pm 3 \cdot 10^{-7}$) только с помощью описанного метода затруднено, поэтому в приемнике применена компенсация нестабильности частоты второго и третьего гетеродинов. Компенсация происходит следующим образом. Пусть на первый смеситель $U1$ подается входной сигнал f_c и колебание с генератора $G1—f_{G1}$ с нестабильностями кварцевых генераторов $G2—\Delta f_{G2}$ и $G3—\Delta f_{G3}$. Преобразование частоты на первом смесителе $U1$ происходит «вверх»:

$$f_{пр1} = f_c + (f_{G1}^{ном} \pm \Delta f_{G2} \pm \Delta f_{G3}) = f_{пр1}^{ном} \pm \Delta f_{G2} \pm \Delta f_{G3}. \quad (10)$$

Далее $f_{пр1}$ подается на второй смеситель $U2$, куда поступает частота второго гетеродина $G2—f_{G2}$. Смеситель $U2$ переносит частоту «вниз»:

$$\begin{aligned} f_{пр2} &= f_{пр1} - f_{G2} = (f_{пр1}^{ном} \pm \Delta f_{G2} \pm \Delta f_{G3}) - \\ &- (f_{G2}^{ном} \pm \Delta f_{G2}) = f_{пр2}^{ном} \pm \Delta f_{G3}. \end{aligned} \quad (11)$$

На выходе третьего смесителя $U3$ имеем

$$f_{пр3} = f_{пр2} - f_{G3} = (f_{пр2}^{ном} \pm \Delta f_{G3}) - (f_{G3}^{ном} \pm \Delta f_{G3}) = f_{пр3}^{ном}. \quad (12)$$

Таким образом, в результате преобразования на 1, 2, и 3-м смесителях с разными знаками третья промежуточная частота не зависит от стабильности частоты второго и третьего гетеродинов.

Встроенная система контроля работы приемника построена по принципу допускового контроля. Работоспособность приемника оценивается по сквозному усилению приемного тракта;

для этого на вход $Z1$ подается напряжение от генератора шума, формирующего тест-сигнал во всем диапазоне рабочих частот. Подавитель шума $E3$ отключается, а напряжение шума с выхода УНЧ подается на детектор контроля, где протестированное напряжение сравнивается с допустимым. Если напряжение с выхода УНЧ в норме, то засвечивается индикатор «Контроль», свидетельствующий об исправности приемного тракта.

Портативная УКВ-радиостанция «Тюльпан» предназначена для ведения беспосредственной, бесподстроечной телефонной радиосвязи на одной фиксированной рабочей частоте в пределах дальности 1—2 км. Радиостанция используется в качестве индивидуального (носимого) средства внутриаэродромной служебной связи. Радиостанция содержит независимые схемы приемника и передатчика и работает в режиме узкополосной ЧМ (F3E).

Приемник построен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты (рис. 15). Первая промежуточная частота выбрана равной 24 МГц, вторая — 1596 кГц.

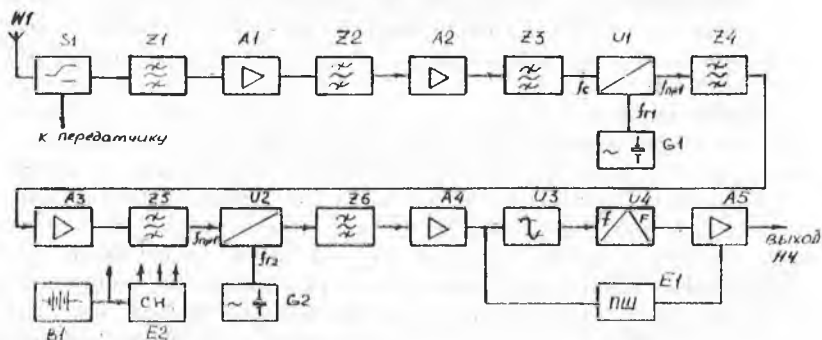


Рис. 15. Структурная схема приемника радиостанции «Тюльпан»

Напряжение, снимаемое с антенны $W1$, через контакты переключателя $S1$ «прием-передача» поступает на одноконтурную входную цепь $Z1$. УРЧ — двухкаскадный: первый каскад $A1$ нагружен на двухконтурный полосовой фильтр $Z2$, второй каскад $A2$ — одноконтурный (нагрузка $Z3$).

С целью уменьшения внутренних шумов и увеличения устойчивости $A1$ собран по каскодной схеме $ОЭ—ОБ$. Все контуры преселектора настроены на частоту принимаемого сигнала и обеспечивают подавление первого зеркального канала на 70 дБ. С выхода УРЧ сигнал поступает на вход первого смесителя $U1$, на другой вход которого подаются колебания первого гетеродина $G1$, стабилизированного кварцевым резонатором. Разностная частота (24 МГц) выделяется на выходе $U1$ трехзвенным LC-фильтром сосредоточенной селекции $Z4$.

В качестве усилителя первой промежуточной частоты использован однокаскадный усилитель АЗ с одноконтурной нагрузкой. Фильтры Z4 и Z5 обеспечивают ослабление второго зеркального канала на 70 дБ. На второй смеситель U2 поступают напряжения первой промежуточной частоты и колебания второго гетеродина G2, также стабилизированного кварцем. Напряжение второй промежуточной частоты (1596 кГц) выделяется ФСС Z6, который представляет собой 9-звенный LC-фильтр, обеспечивающий основную селекцию сигнала в приемнике (двухсигнальная избирательность по соседнему каналу 60 дБ). С выхода ФСС напряжение поступает на УПЧ-2-А4, представляющий собой трехкаскадный аperiodический усилитель.

Далее следует ограничить U3 и частотный детектор U4, собранный по схеме дискриминатора со связанными контурами. С выхода детектора U4 сигнал поступает на четырехкаскадный усилитель низкой частоты А5. К выходу УНЧ подключается динамическая головка прямого излучения.

Стабилизатор напряжения E2 питает все каскады приемника (кроме G1 и G2) и обеспечивает нормальную работу последнего при изменении напряжения аккумуляторной батареи В1 от 6,75 до 8,4 В.

Радиостанция аварийно-спасательного комплекта оборудования магистральных самолетов «Актиния» предназначена для обеспечения двухсторонней связи между экипажем и морскими подвижными службами поиска, а также для автоматической передачи сигналов бедствия. Приемник радиостанции может работать на одной из 4-х выделенных для этой цели частот: 2182, 4182, 8364 и 12546 кГц. Основными требованиями, положенными в основу проектирования радиостанции, являются обеспечение экономичности в работе от источника питания ограниченной емкости, простота в управлении, высокая надежность, малые габариты, масса. Приемник радиостанции собран на ИМС серии 235, что позволило при ограниченных габаритах выполнить высокочастотный тракт многоканальным, с фиксированной настройкой каналов на частоты связи (рис. 16). Переключение приемника на прием требуемой частоты осуществляется путем подключения антенны U1 с помощью переключателя S1 ко входу нужного канала.

Каждый канал содержит входную цепь Z1, УРЧ-А1 нагруженный на 3-контурный фильтр и преобразователь частоты, состоящий из смесителя U1 и гетеродина G1, стабилизированного кварцевым резонатором. Тракт промежуточной частоты — общий для всех каналов, он включает электромеханический фильтр Z3, обладающий высокой избирательностью и полосой 8 кГц, и двухкаскадный УПЧ-А2. Каскад U2 является детекто-

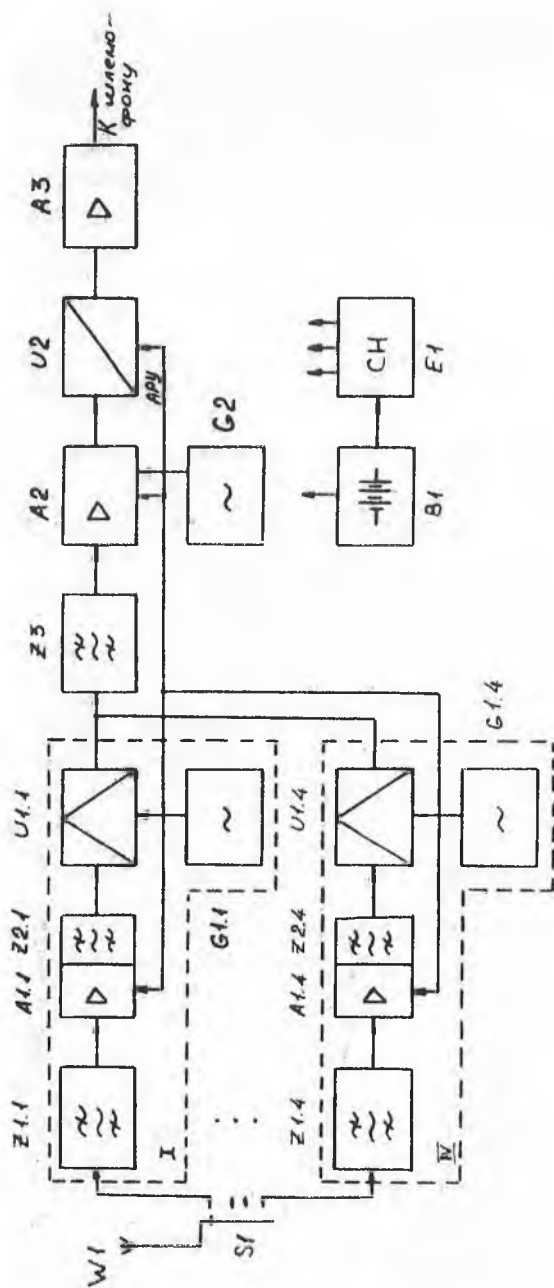


Рис. 16. Структурная схема приемника радиостанции «Активная»

ром сигнала и АРУ. С выхода детектора колебания звуковой частоты через усилитель АЗ поступают на шлемофон. Для прослушивания телеграфных сигналов в режиме излучения А1А используется телеграфный гетеродин G2, дающий колебания 500 ± 2 кГц, образующие с промежуточной частотой звуковые бнения. АРУ охватывает каскады УРЧ и УПЧ. Для построения УРЧ использованы ИМС 235 УС1; преобразователя частоты — 235УС6; первого каскада УПЧ — 235УС3, второго — 235УС7; детектора — 235Д А1.

3. СХЕМОТЕХНИКА ОТДЕЛЬНЫХ НАСКАДОВ ПРИЕМНИКОВ

3.1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ

Схемотехника радиоприемных устройств непрерывно изменяется из-за постоянного обновления элементной базы радиоустройств и разработки новых изделий электронной техники. Если принципы построения связных приемников за последние 40 лет существенно не изменились, то развитие элементной базы приемников прошло несколько этапов. Ламповые схемы сменились схемами на биполярных транзисторах, которые, в свою очередь, вытесняются интегральными микросхемами на биполярных и МДП-структурах.

В настоящее время основой элементной базы приемных устройств, выпускаемых серийно, являются полупроводниковые приборы и специализированные, а также универсальные ИМС. Наибольшее распространение при построении радиочастотных трактов приемников, а также трактов промежуточной частоты находят гибридные ИМС. Это обусловлено требованием достаточно высоких рабочих частот и точности воспроизведения параметров, а также широкой номенклатурой применяемых узлов.

Специализированные ИМС для построения приемников выпускаются в виде серий, содержащих до 25 различных по функциональному назначению микросхем. Полупроводниковые универсальные ИМС, например операционные усилители, цифровые микросхемы, широко используют при построении схем АРУ, АПЧ, цифровых синтезаторов частоты, устройств дистанционного управления. Причем, появление декадных синтезаторов частоты в бортовых радиостанциях связано именно с внедрением цифровых ИМС, так как построение подобных синтезаторов на дискретных элементах оказалось бы слишком громоздким для бортовой аппаратуры.

Анализ структурных схем приемников позволяет выявить общность построения отдельных функциональных узлов. Поэтому схемотехнику приемников целесообразно рассматривать

в рамках этих узлов, разбирая построение их схемных вариантов. Рассмотрим следующие функциональные узлы приемников: преселекторы, преобразователи частоты, усилители промежуточной частоты, детекторные каскады, устройства регулировки и настройки, вспомогательные устройства.

3.2. ПРЕСЕЛЕКТОРЫ

В состав преселекторов приемников РТС ЛА входят входные устройства (входные цепи) и каскады УРЧ. В диапазоне МВ и на более длинных волнах входные цепи (ВЦ) выполняют функции согласования приемника с антенной, их избирательные системы совместно с фильтрами УРЧ ослабляют сигналы по неосновным каналам приема. Усиление УРЧ выбирается небольшим (~ 20 дБ) для того, чтобы, во-первых, сохранить режим слабого сигнала в смесителе (для ослабления неосновных каналов приема), а во-вторых, для обеспечения заданной чувствительности относительно собственных шумов. К схемам таких преселекторов предъявляются следующие основные требования:

линейность в заданном динамическом диапазоне амплитуд входных сигналов;

обеспечение заданного коэффициента передачи;

обеспечение заданного коэффициента шума;

реализация избирательности по неосновным каналам приема;

возможность перестройки в диапазоновых приемниках;

равномерность коэффициента передачи по диапазону.

Для схем преселекторов приемников ДМВ и более коротких волн основными требованиями являются обеспечение заданной чувствительности приемника, защита первых каскадов приемника от повреждения СВЧ-мощностью и ослабление неоднородностей в антенно-фидерном тракте. В связи с этим коэффициент передачи пассивных элементов таких преселекторов стремятся сделать как можно ближе к единице, а УРЧ должен обладать достаточным усилением (более 20 дБ) и малым коэффициентом шума.

Преселектор приемника радиостанции ДМВ «Баклан» содержит двухконтурную ВЦ и УРЧ на МОП-тетроде с двухконтурным полосовым фильтром. Контуры ВЦ образованы индуктивностями L_1 и L_3 (рис. 17), подстроечными конденсаторами C_1 и C_2 , а также варикапами VD_1 , VD_2 и VD_3 , VD_4 . Индуктивность L_2 служит элементом внутренней индуктивной связи между контурами. Для улучшения линейности входных контуров используется встречно-последовательное включение варикапов. Управляющее напряжение на варикапы подается через

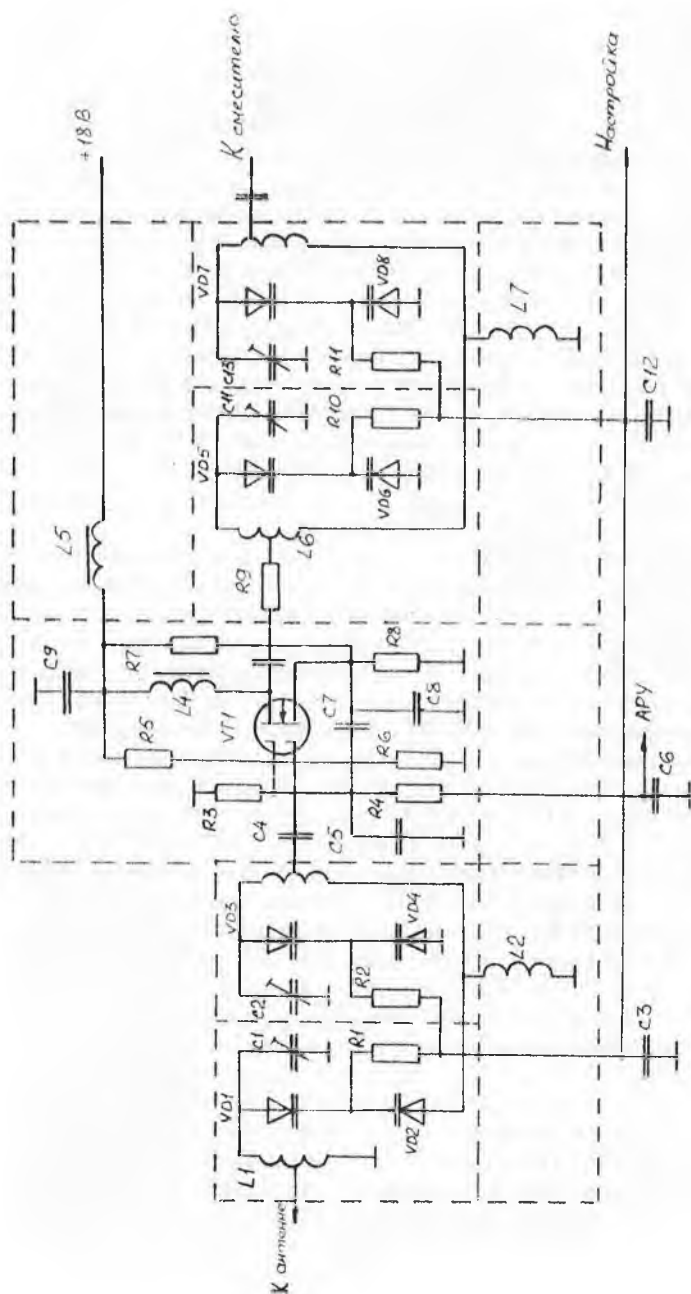


Рис. 17. Преселектор приемника «Баклан»

резисторы $R1$, $R2$ от матрицы электронной перестройки; конденсатор $C3$ — блокировочный.

УРЧ выполнен на полевом тетроне $VT1$ по схеме с общим истоком. Полевые тетроды обладают малыми нелинейностями, что существенно повышает избирательность приемника по неосновным каналам приема, улучшая его ЭМС. Сравнительно малый уровень шумов полевых транзисторов позволяет обеспечить требуемую чувствительность приемника в УКВ-диапазоне. Использование полевых тетродов в УРЧ позволяет также просто осуществить глубокую регулировку усиления, подавая напряжение АРУ на второй затвор. Режим транзистора $VT1$ по постоянному току обеспечивается резисторными делителями $R3$, $R4$ в цепи второго затвора; $R5$, $R6$ — в цепи первого затвора и $R7$, $R8$ в цепи истока. Питание стоковой цепи осуществляется через дроссель $L4$. Фильтр УРЧ аналогичен входной цепи. Перестройка контуров в диапазоне 118...136 МГц осуществляется подачей напряжения на варикапы через резисторы $R10$, $R11$. Конденсаторы $C10$, $C14$ — разделительные, $C5$ — $C9$, $C12$ — блокировочные. Дроссель $L5$ является элементом фильтра в цепи питания.

В УРЧ применена АРУ путем изменения потенциала второго затвора, для чего резисторный делитель $R3$, $R4$ подключен к выходу УПТ АРУ. Резистор $R8$ служит для создания опорного смещения на истоке, что увеличивает эффективность АРУ.

На рис. 18 показана схема преселектора приемника радиостанции «Тюльпан», работающего на одной фиксированной частоте в диапазоне 140...174 МГц с частотной модуляцией.

ВЦ — одноконтурная, образована индуктивностью $L1$ и конденсаторами $C1$, $C2$. Связь с антенной — автотрансформаторная, с транзистором УРЧ — емкостная. УРЧ — двухкаскадный. Первый каскад УРЧ собран на транзисторах $VT1$ и $VT2$, включенных по каскадной схеме $ОЭ$ — $ОБ$, это необходимо для получения достаточно большого усиления первого каскада (малого коэффициента шума) и согласования активного элемента с избирательными системами. Резисторы $R1$ — $R5$ обеспечивают режим транзисторов $VT1$, $VT2$ по постоянному току, конденсаторы $C3$ — $C5$ — блокировочные. Нагрузкой первого каскада УРЧ служит двухконтурный фильтр $L2$, $C7$ и $L3$, $C8$, $C9$ с емкостной связью между контурами через $C6$. В коллекторной цепи $VT2$ установлен антипаразитный резистор $R16$, повышающий устойчивость каскада. Второй каскад УРЧ собран на транзисторе $VT3$ по схеме с $ОБ$. Нагрузка $VT3$ — одиночный контур, образованный индуктивностью $L4$, конденсатором $C12$. Резисторы $R8$ — $R11$ обеспечивают режим транзистора $V3$ по постоянному току, конденсаторы $C10$, $C11$ — блокировочные. Резистор $R7$ ослабляет

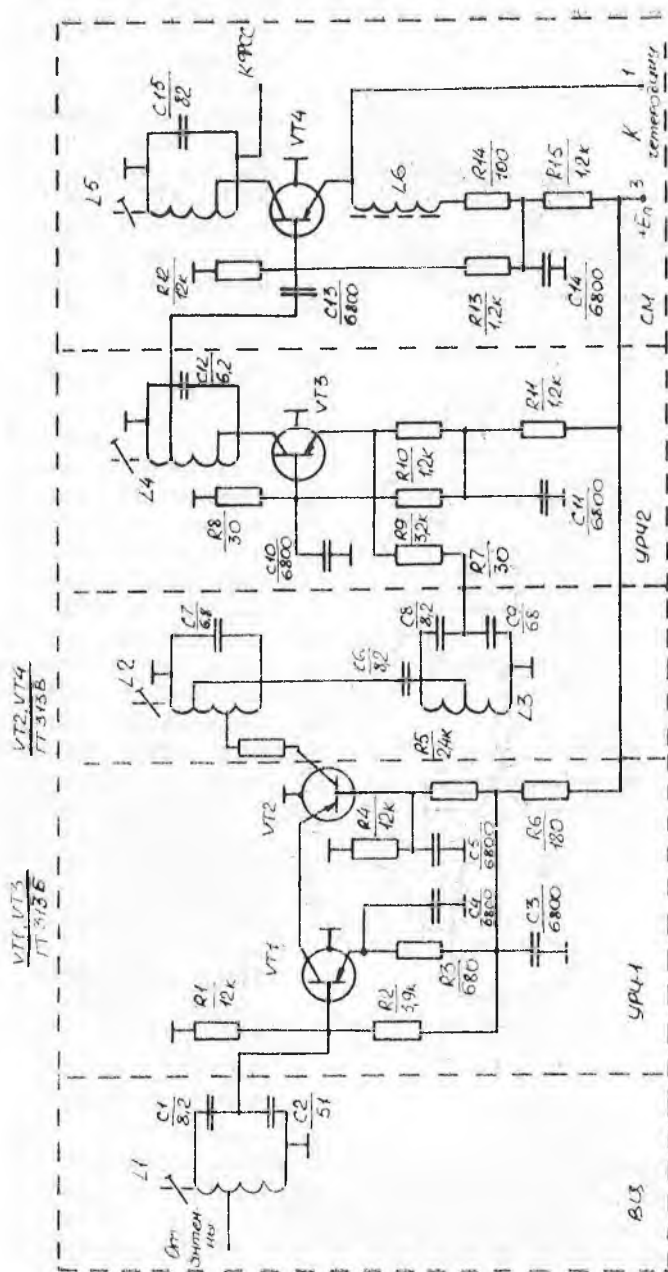


Рис. 18. Преселектор и первый смеситель приемника «Тюльпан»

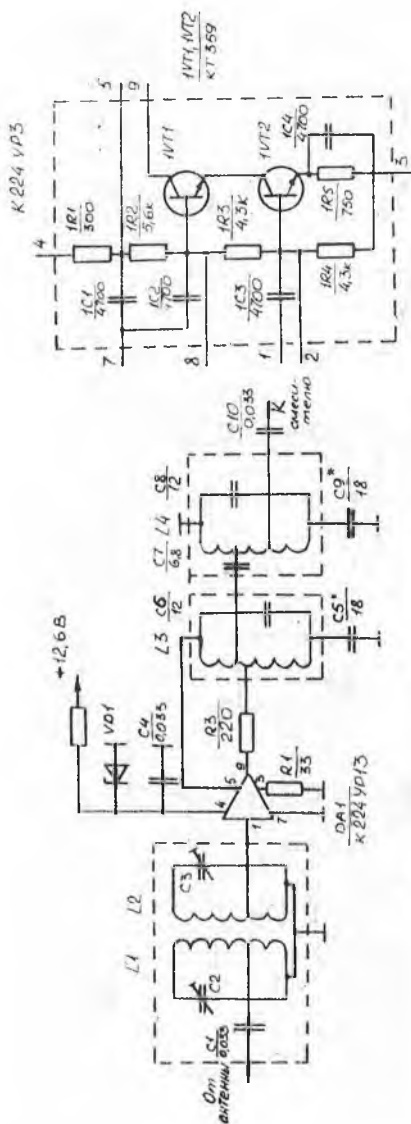


Рис. 19. Преселектор приемника радиостанции «Гранит М»

шунтирующее действие входного сопротивления транзистора на избирательную систему первого каскада, а также уменьшает нелинейные эффекты во втором каскаде УРЧ. АРУ в УРЧ отсутствует, что является характерным для простых приемников с ЧМ. Питание к каскадам УРЧ подводится через фильтрующие цепочки $C3$, $R6$ и $C11$, $R11$.

Преселектор ЧМ-приемника радиостанции «Гранит М», работающий на одной фиксированной частоте в диапазоне 33...46 МГц, включает двухконтурную ВЦ с индуктивной связью (рис. 19). В качестве усилительного элемента УРЧ применена микросхема ДА1 серии К224, представляющая собой каскодный усилитель, выполненный на транзисторах 1VT1 и 1VT2 по схеме ОЭ–ОБ. На рабочей частоте микросхема обладает крутизной порядка 25 мА/В. Нагрузкой УРЧ служит двухконтурный полосовой фильтр с внешней-костной связью между контурами (конденсатор связи $C7$). Неполное

включение контура позволяет получить усиление УРЧ порядка 15–20 дБ, а также повысить эквивалентную добротность контуров фильтра. Стабилитрон $VD1$ служит для стабилизации напряжения питания $A1$. Резистор $R3$ повышает устойчивость УРЧ.

В приемниках малой чувствительности преселектор содержит только ВЦ. Высокочастотная часть *приемника сигналов маркерного маяка* системы посадки самолетов состоит из четырехконтурной ВЦ (рис. 20, вкладка) с емкостной связью. Маркерный приемник работает на фиксированной частоте 75 МГц. Маркерная антенна (несимметричный вибратор) включена в контур ВЦ с помощью индуктивной трансформаторной связи. Полоса пропускания ВЦ около 1 МГц, конструктивно она выполнена на спиральных резонаторах $L1-L4$, настройка фильтра осуществляется подстроечными винтами, выполняющими функцию конструктивных емкостей $C1-C4$.

Преселектор *приемника сигналов курсового радиомаяка* системы посадки самолетов построен более сложно. Это обусловлено более высокими техническими требованиями (табл. 1), а также необходимостью настройки приемника на 20 фиксированных частот.

Входная цепь приемника выполнена двухконтурной с индуктивной связью с антенной и индуктивной между контурами $L1, VD1, C2, BD2, C4$ (рис. 21, вкладка). Транзистор $VT1$ выполняет функции УРЧ, нагруженного на двухконтурный полосовой фильтр $L3, VD3, C13$ и $L4, VD4, C15$, аналогичный по построению ВЦ. Для настройки фильтров использована матрица электронной настройки частоты, представляющая переменный делитель напряжения +20 В, имеющий 20 фиксированных положений, управляемый с пульта управления. Перестройка фильтров осуществляется с шагом 0,5 МГц.

УРЧ построен на транзисторе 2П350Б по типовой схеме включения (например, рис. 17). С выхода УРЧ сигнал подается на первый смеситель приемника.

Преселектор *самолетного дальномера*, работающего в диапазоне 960...1213 МГц, содержит циркулятор, служащий антенным переключателем (рис. 22), входное устройство (рис. 23), высокочастотное устройство (рис. 24), а также полосно-пропускающий ферритовый фильтр (ППФФ).

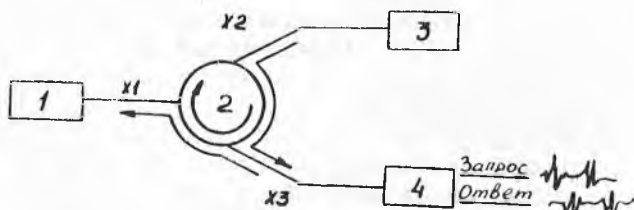


Рис. 22. Антенный переключатель самолетного дальномера: 1 — приемный тракт, 2 — коаксиальный циркуляр, 3 — передающий тракт, 4 — антенна

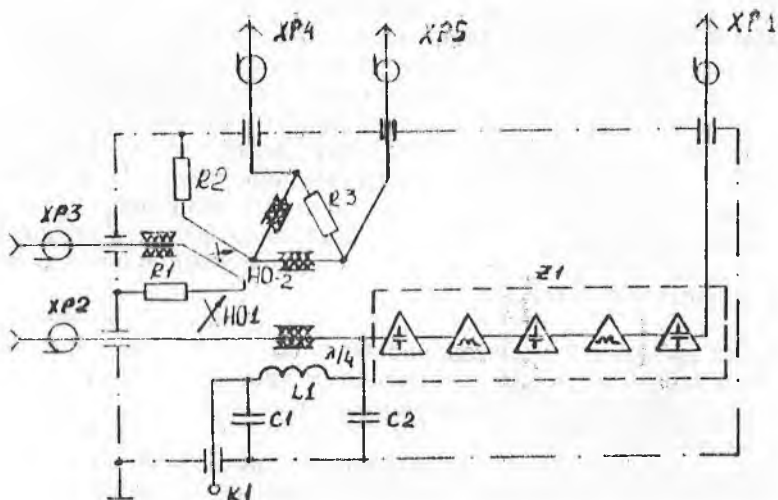


Рис. 23. Входное устройство самолетного дальномера

Входное устройство выполняет функции подавления гармоник передатчика запросчика и обеспечивает возможность контроля работоспособности антенно-фидерной системы (АФС) и тракта приемопередатчика. Сигнал от АФС поступает на разъем $XP2$ и далее на полосковый ФНЧ $Z1$. Сигналы с частотами, соответствующими рабочему диапазону передающего устройства, пропускаются ФНЧ (потери не более 1 дБ), а высокочастотные колебания гармоник передатчика ослабляются (ослабление на частоте 2000 МГц не менее 20 дБ). С выхода ФНЧ через разъем $XP1$ сигнал поступает на циркулятор, разъем $X3$. К разъему $XP3$ подключается контрольный сигнал проверки работоспособности. Разъемы $XP4$, $XP5$ служат для подключения детекторных секций контрольно-измерительных цепей. Работоспособность АФС оценивается с помощью цепи, включающей четвертьволновую линию на выходе ФНЧ, фильтрующую цепочку $C1$, $L1$, $C2$ и контрольное гнездо $K1$. Направленный ответвитель $HO-1$ обеспечивает попадание в цепь контроля, сигналов с АФС, а $HO-2$ с разъема $XP3$.

Входное устройство представляет собой симметричную полосковую конструкцию, состоящую из двух плат. На одну из плат нанесена печатная схема входного устройства и расположены входящие в схему элементы. Коаксиальные разъемы $XP1$ — $XP5$ подключаются через коаксиально-полосковые переходы.

Высокочастотное устройство (см. рис. 24) выполняет функции защиты приемного тракта от сигналов передатчика и усиления входного сигнала.

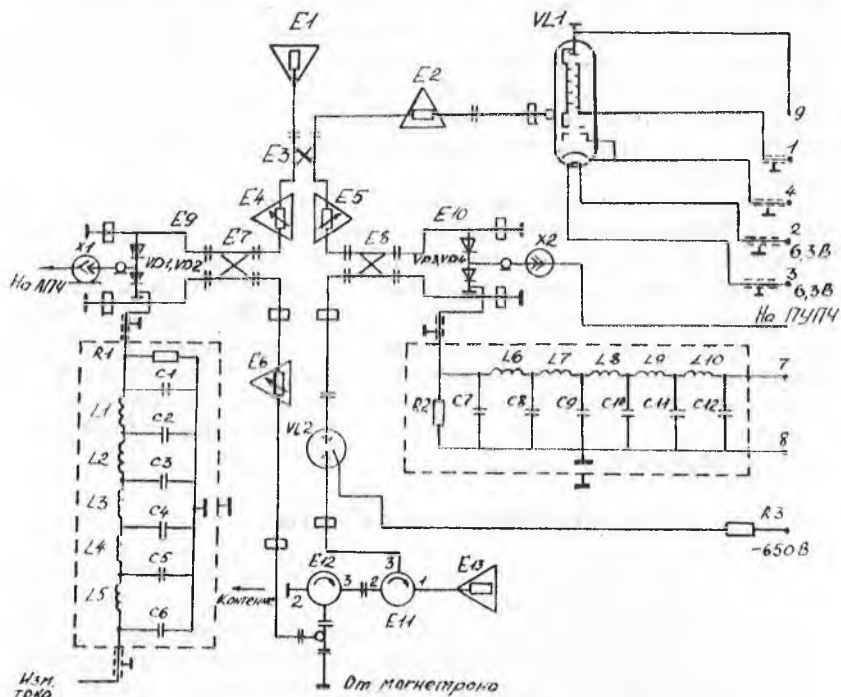
Сигнал от циркулятора поступает на входной разъем $XP1$ платы аттенюатора, в состав которой входят схема блокирования на диоде $VD1$ и схема регулируемого аттенюатора-ограничителя на диодах $VD2—VD5$.

Схема блокирования запирает тракт приема сигналов в момент работы передатчика при подаче на диод $VD1$ импульса тока. Схема регулируемого аттенюатора обеспечивает плавное изменение коэффициента передачи на минус 35 дБ, а также ограничивает мощность, просачиваемую при работе передатчика, на уровне 100 мВт, обеспечивая защиту транзисторов УРЧ. Ослабление и ограничение осуществляется путем создания условий короткого замыкания микрополосковой линии через диод на корпус при подаче управляющего тока или поступления пороговой мощности СВЧ.

УРЧ на транзисторах $VT1—VT3$ служит для усиления сигналов и обеспечения требуемой чувствительности. Коэффициент шума высокочастотного устройства не более 9 дБ, коэффициент усиления не менее 17 дБ. УРЧ содержит три однотипных каскада на транзисторах 2Т3115А ($VT1$), 2Т3101А ($VT2$, $VT3$), собранных по схеме с ОЭ. Элементы $R11$, $R12$, $R16$ (каскад на $VT2$) обеспечивают режим по постоянному току; коррекция ОС осуществляется подбором резисторов $R13—R15$, имеющих на подложке. Входное и выходное сопротивления транзистора согласованы с сопротивлениями источника сигнала и нагрузки. Согласующие цепи состоят из последовательной линии и параллельного шлейфа, компенсирующего реактивность линии. Короткозамкнутые шлейфы длиной $\lambda/4$ удобны для подведения напряжения питания (короткозамыкающие емкости $C14$, $C16$). Если их длина менее $\lambda/4$, то они используются в качестве компенсирующих. Выходная цепь транзистора выполняет функции формирования частотной характеристики УРЧ, а также содержит стабилизирующую цепь в виде разомкнутых отрезков линий, шунтирующую транзистор за полосой рабочих частот и, тем самым, предотвращающую самовозбуждение каскада.

На диодах $VD6$, $VD7$ собран переключатель, подающий на вход ППФФ либо сигнал с выхода УРЧ, либо контрольный сигнал, используемый для контроля приемного тракта, а также для настройки ППФФ. Конструктивно высокочастотное устройство выполнено в виде ИМС на подложке из поликора в гибридно-пленочном исполнении на базе микрополосковых линий передачи. В ИМС используется технология вакуумного напыления и бескорпусные диоды и транзисторы.

С выхода высокочастотного устройства сигнал поступает на ППФФ, служащий для обеспечения требуемой избирательности по зеркальному и другим дополнительным каналам приема. ППФФ представляет собой 3-резонаторный фильтр. Каждый резонатор содержит сферу ЖИГ, расположенную в месте пересечения осей двухортогональных витков, один из которых является входным для сигнала, другой — выходным. Внешнее магнитное поле, подаваемое на резистор и определяемое током в обмотке управления, определяет резонансную частоту настройки ППФФ. Потери ППФФ составляют не более 5 дБ, избирательность не менее 16 дБ/октаву.



антенный переключатель и РЗП. Антенный переключатель, состоящий из ферритовых циркуляторов $E12$ и $E11$, связывает антенный вход РЛ (плечо 2 $E12$), вход приемника (плечо 3 $E11$) и волновод, идущий от магнетронного передатчика (плечо 1 $E12$). На входе приемника установлен РЗП $VI.2$. Во время действия мощного импульса передатчика разрядник «поджигается», т.е.

в нем происходит СВЧ-разряд, благодаря которому мощность передатчика, просачивающаяся из-за неидеальности циркуляторов, ослабляется до уровня десятков милливатт, а энергия «пики» в начале импульса составляет менее 0,1...0,3 эрга, что вполне достаточно для защиты смесительных диодов от повреждения СВЧ-мощностью. Частотно-избирательные свойства РЗП определяют избирательность преселектора приемника. Напряжение — 650 В подается через резистор $R3$ на электрод поджига РЗП, обеспечивая ток поджига около 70 мкА, что улучшает характеристики поджига.

Преселектор приемника самолетного ответчика содержит (рис. 26, вкладка) два полосовых фильтра для приема сигналов запроса на частоте 837,5 МГц и 1030 МГц. Фильтры построены на связанных коаксиальных резонаторах; короткозамкнутые укороченные линии $\lambda/4$ резонаторов подстраиваются с помощью подстроечных конденсаторов $C1—C5$. Полоса пропускания преселектора составляет соответственно 15...25 и 25...30 МГц. Из-за низкой чувствительности приемника преселектор не содержит каскада УРЧ.

Приемник самолетного радиовысотомера работает в диапазоне СМВ в режиме приема непрерывного, отраженного от Земли излучения. Рупорная антенна соединяется с высокочастотной головкой приемника коаксиальным кабелем. Входным устройством приемника является вентиль $WS3$ (рис. 27, вкладка), соединяющий антенный тракт со смесителем приемника. Вентиль имеет коаксиальную конструкцию и построен на основе ферритов. Затухание в прямом направлении составляет 1 дБ, в обратном 17...20 дБ, КСВ не более 1, 2, что обеспечивает требуемую развязку.

3.3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Преобразователи частоты служат для линейного переноса спектра принимаемого сигнала с несущей частоты сигнала на другую несущую, называемую промежуточной. На промежуточной частоте производится основная фильтрация (обеспечение избирательности по соседнему каналу) и основное усиление сигналов. В приемниках ДМВ и более коротких волн преобразование частоты осуществляется «вниз», т. е. величину промежуточной частоты, исходя из удобства обработки сигналов, выбирают ниже величины частоты принимаемого сигнала.

В приемниках ДКМВ и более длинных волн для достижения требуемой избирательности по неосновным каналам приема величина промежуточной частоты может быть выбрана выше частоты принимаемого сигнала. Тогда зачастую для реализации

узкой полосы пропускания в приемнике используется многократное преобразование частоты, смещающее промежуточную частоту «вниз» до значения, при котором наиболее просто и эффективно можно осуществить заданную полосу. В цифровых приемниках это значение частоты выбирают из условий реализации аналого-цифрового преобразования. В аналоговых трактах значение «последней» промежуточной определяется выбором твердотельных ФСС, обеспечивающих заданные параметры. В состав преобразователя частоты входят: смеситель, представляющий нелинейный элемент или элемент с переменным параметром, а также устройство формирования гетеродинирующих напряжений, в простейшем случае — малоомощный автогенератор (гетеродин), в диапазонных приемниках — синтезатор частоты. Нагрузкой преобразователя частоты является избирательная система, настроенная на промежуточную частоту.

Требования, предъявляемые к схемам преобразователей частоты, в определенной степени связаны с электрическими параметрами приемника. Для приемников ДМВ и более коротких волн, не содержащих УРЧ, основным требованием, необходимым для реализации чувствительности, является малый коэффициент шума преобразователя частоты и возможно больший коэффициент передачи.

Для приемников МВ и более длинных волн основным требованием реализации высокой избирательности является линейность в отношении преобразуемого сигнала и помеховых сигналов, прошедших преселектор в требуемом динамическом диапазоне амплитуд, а также получение заданного коэффициента передачи.

Более общими, предъявляемыми к схемам преобразователей частоты, являются требования:

минимальная связь между цепями сигнала и гетеродина, обеспечивающая минимальное просачивание колебаний гетеродина во входные цепи;

заданная стабильность частоты гетеродина;

минимальный уровень гармоник гетеродина.

Схема *смесителя на полевом МОП-транзисторе* приемника диапазона МВ показана на рис. 28,а. Он преобразует частоту сигнала 118...136 МГц в промежуточную 20 МГц. Нагрузкой смесителя является кварцевый фильтр $Z1$, настроенный на частоту $f_{пр} = 20$ МГц, с полосой пропускания 18 кГц. Смеситель собран на транзисторе $VT1$ по схеме с ОИ. Режим транзистора по постоянному току задается делителем $R1, R2$ в цепи затвора и резистором $R4$ в цепи истока. Сигнал от УРЧ через разделительный конденсатор $C1$ поступает на затвор $VT1$. Напряжение гетеродина от синтезатора частоты поступает на

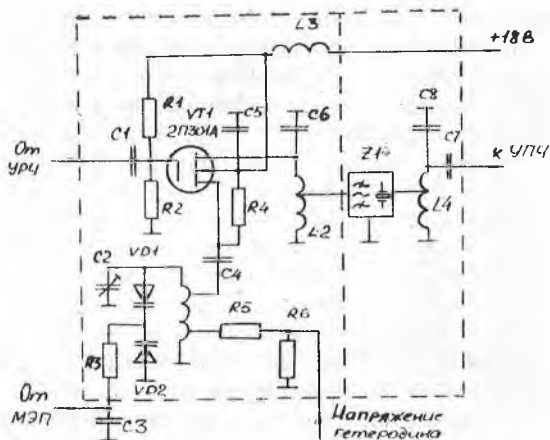


Рис. 28,а. Приемник «Баклан» (смеситель)

исток $VT1$ через делитель $R5, R6$ и одноконтурный фильтр гетеродина. Фильтр образован индуктивностью $L1$, конденсатором $C2$ и варикапами $VD1, VD2$; он перестраивается синхронно с перестройкой преселектора. Связь фильтра с транзистором — автотрансформаторная через конденсатор $C4$. Фильтр гетеродина ослабляет гармоники колебаний гетеродина, возникающие на выходе синтезатора частоты. От матрицы электронной перестройки, входящей в состав схемы приемника, управляющее напряжение через резистор $R3$ подается на варикапы $VD1, VD2$. Для улучшения линейности контура гетеродина применено встречно-последовательное включение варикапов. Конденсаторы $C3, C5$ — блокировочные. Согласование входного и выходного сопротивлений кварцевого фильтра $Z1$ с питающим транзистором и нагрузкой осуществляется с помощью контуров $L2, C6$ и $L4, C8$ путем выбора соответствующего коэффициента включения. Дроссель $L3$ — элемент фильтрации по цепи питания.

Смесители приемников маркерного и курсового радиомаяка системы посадки самолетов собраны на полевых тетрах 2П350Б (см. рис. 20, 21) по однотипной схеме. В схеме маркерного приемника сигнал с выхода ВЦ поступает на первый затвор транзистора $VT3$, а колебания кварцованного гетеродина (транзисторы $VT1, VT2$) на второй затвор. Линейность характеристики транзистора позволяет регулировать коэффициент передачи смесителя (и приемника в целом) путем регулировки напряжения на втором затворе (резистор $R6$ и цепь «перекл. чувств.», включающая стабилитрон $VD1$). Нагрузка смесителя — контур

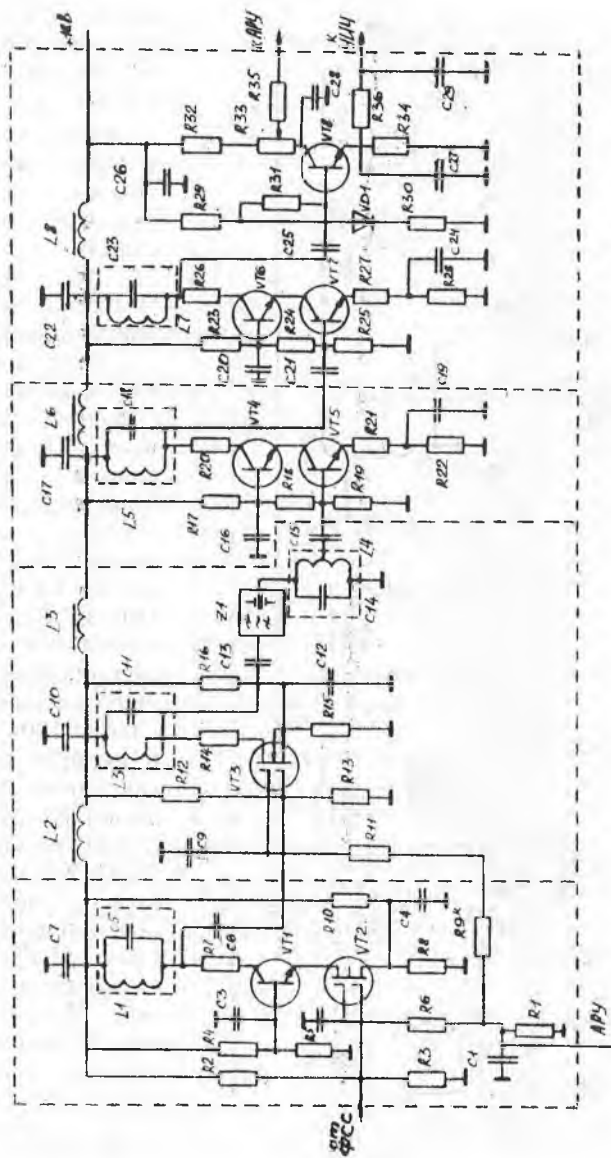


Рис. 28,б. Приемник «Баклан» (УПЧ и АМ-детектор)

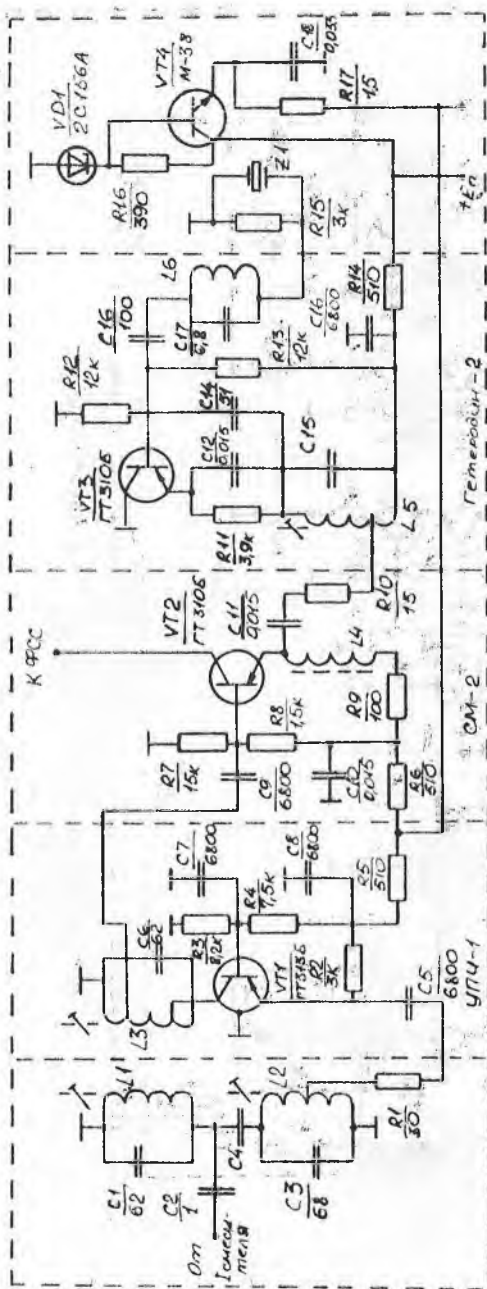


Рис. 29. Второй преобразователь частоты приемника «Тюльпан»

$L7$, $C8$, связанный с пьезоэлектрическим ФСС, настроенным на промежуточную частоту равную 10,7 МГц.

При снижении требований к линейности амплитудной характеристики смесителя, например, в случае приемника ЧМ-сигналов низкой радиосвязи, в качестве активного элемента смесителя используют биполярные транзисторы. Схемы смесителей на биполярных транзисторах показаны на рис. 18, 29. Транзистор $VT4$ (см. рис. 18) используется в качестве первого смесителя, преобразующего сигнал из диапазона 140...174 МГц в первую промежуточную частоту величиной 24 МГц. Напряжение сигнала от УРЧ ($VT3$) поступает через разделительный конденсатор $C13$ на базу $VT4$, а сигнал гетеродина на эмиттер. Подача напряжений сигнала и гетеродина на различные электроды облегчает развязку цепей гетеродина и сигнала, при этом уменьшается проса-

чивание энергии гетеродина в цель сигнала. Резистор R_{14} увеличивает входное сопротивление смесителя для колебаний гетеродина и снижает нелинейные искажения, что способствует уменьшению числа комбинационных каналов приема. Нагрузка смесителя — трехконтурный ФСС (L_5 , C_{15} на рис. 18, L_1 , C_1 , и L_2 , C_3 на рис. 29).

Показанный на рис. 29 транзистор VT_2 используется в качестве второго смесителя, преобразующего первую промежуточную частоту, равную 24 МГц, во вторую промежуточную частоту величиной 1,596 МГц, на которой далее происходит основная селекция и усиление сигнала. Нагрузкой VT_2 служит 9-звенный ФСС, расположенный в блоке УПЧ.

Снизить комбинационные помехи, возникающие при преобразовании частоты, можно за счет применения диодных балансных смесителей.

Высококачественный *смеситель стационарного приемника ДКМВ-диапазона* показан на рис. 30. Смеситель собран по кольцевой балансной схеме на диодах $VD_1 — VD_{18}$. Напряжение сигнала подается на диоды противофазно с помощью трансформатора L_4 , L_5 , а напряжение гетеродина синфазно с катушки L_2 . Частота сигнала из диапазона 1,5...30 МГц преобразуется в промежуточную частоту величиной 40 МГц. Для увеличения динамического диапазона смесителя в каждом плече установлено по два диода. На транзисторах VT_1 , VT_2 собран усилитель гетеродионирующего напряжения, повышающий амплитуду входных колебаний с 500 мВ до 2...3 В.

Схемы гетеродинов приемников, работающих на одной фиксированной частоте, показаны на рис. 20, 29, 31. Первый гетеродин приемника с двойным преобразованием частоты (см. рис. 31) построен по схеме удвоения частоты. Транзисторы задающего генератора VT_2 и удвоителя частоты VT_1 включены последовательно; частота гетеродина определяется кварцевым резонатором Z_1 . Второй гетеродин (см. рис. 29) собран по схеме одотранзисторного автогенератора на транзисторе VT_3 . Частота его колебаний определяется кварцевым резонатором Z_1 .

Смеситель с использованием полевого транзистора 2П350Б (VT_1) применяется во втором преобразователе *приемника импульсного самолетного дальномера* (рис. 32, б вкладка). Напряжение первой промежуточной частоты (63 МГц) от УПЧ-1 подается на нижний затвор транзистора VT_1 ; напряжение второго гетеродина-кварцевого автогенератора (51,7 МГц) на микросхеме DA_4 — на верхний затвор транзистора VT_1 . Нагрузкой смесителя является ФСС, настроенный на разностную частоту, выбранную в качестве второй промежуточной. Резистор R_{13} обеспечивает режим по постоянному току. Коэффициент усиления преобразователя равен 2.

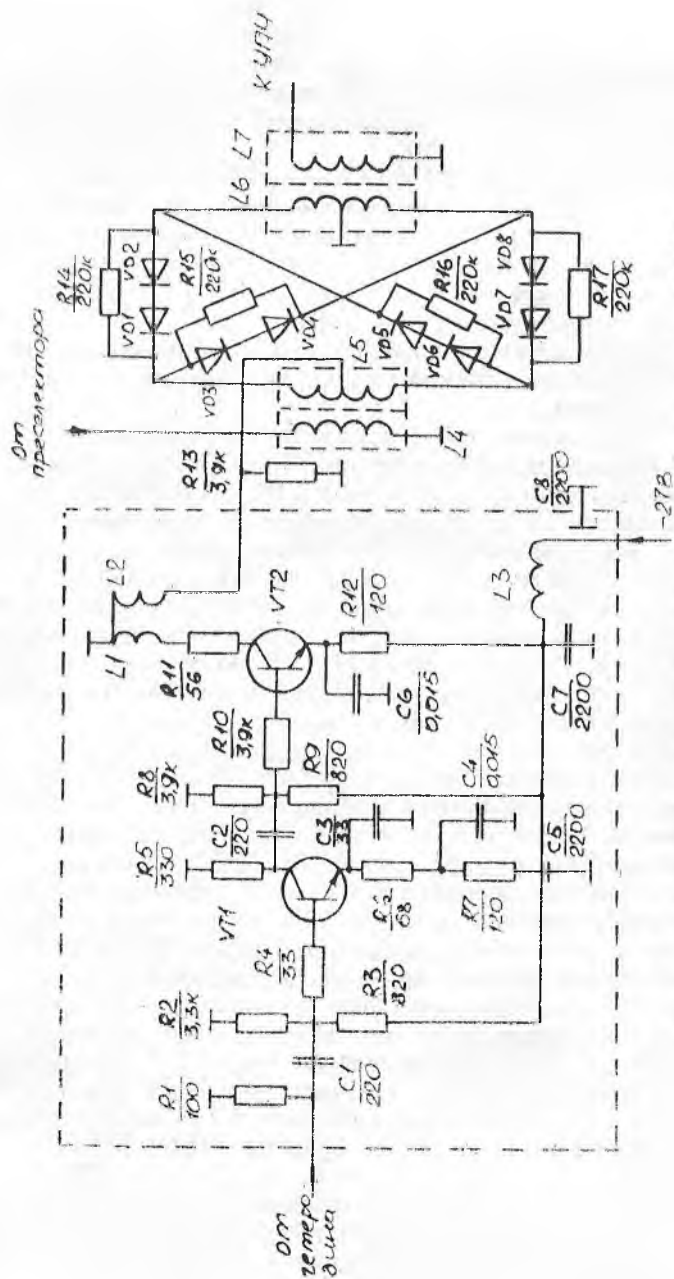


Рис. 30. Колецевой балансный смеситель приемника ДКМВ

VT1, VT2 1Т344Б

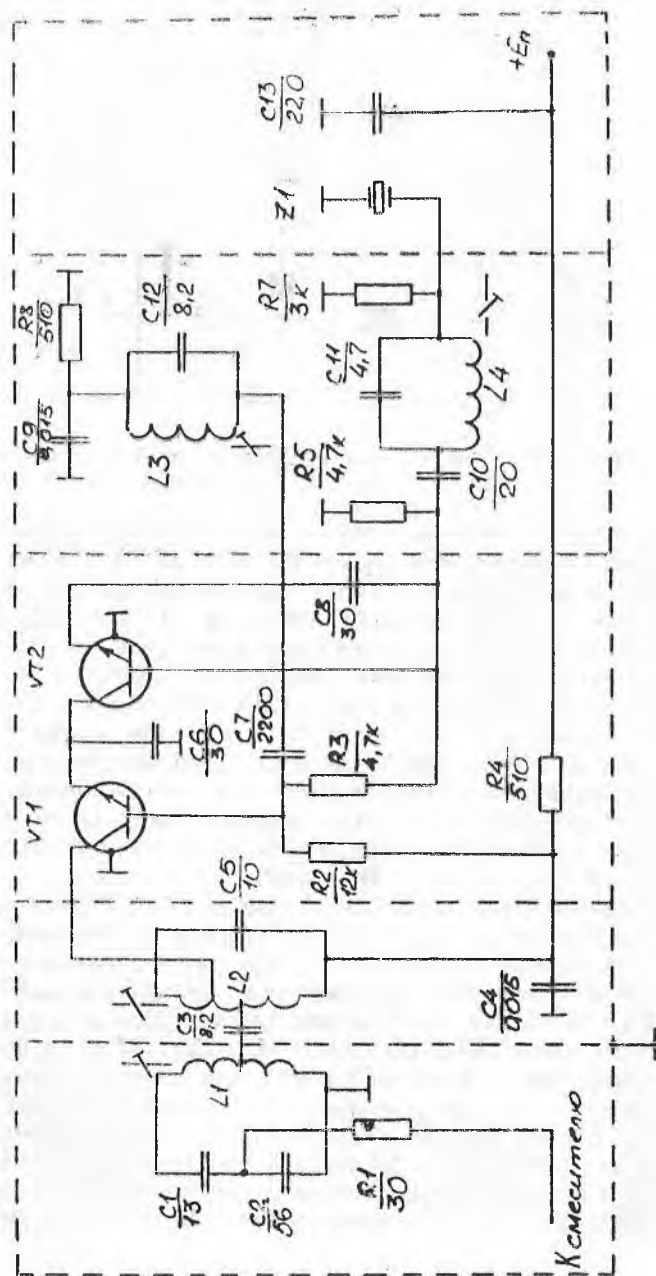


Рис. 31. Первый гетеродина приемника «Тюльпан»

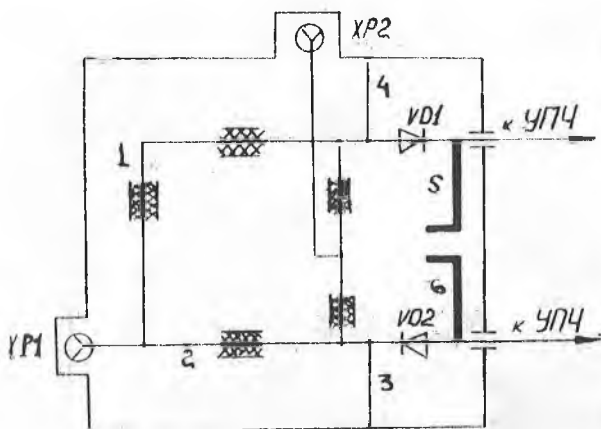


Рис. 32,а. Схема узлов приемного устройства самолётного дальномёра (смеситель)

Балансный смеситель первого преобразователя *импульсного приемника самолётного дальномёра* (рис. 32, а) построен на полосковых линиях. Вход сигнала и колебаний гетеродина выполнен с помощью коаксиальных разъемов $ХР1$ и $ХР2$. Электрические характеристики: потери преобразования — 5...8 дБ, входное сопротивление — 40...600 м, выходное сопротивление — 150...200 Ом, рабочий диапазон 962...1213 МГц. Входной сигнал через $ХР1$ подается на диоды $VD1$, $VD2$ в противофазе за счет разности хода по линиям 1 и 2 на $\lambda/2$. Для компенсации емкостных составляющих сопротивления диодов включены короткозамкнутые шлейфы 3, 4, длина которых выбирается менее $\lambda/4$. Шлейфы одновременно служат для замыкания постоянной составляющей тока диодов $VD1$ и $VD2$.

Колебания гетеродина мощностью 1...20 мВт поступают на смесительные диоды через разъем $ХР2$ в фазе, так как проходят линии одинаковой длины $\lambda/4$. Разнополярное включение диодов приводит к тому, что напряжения промежуточной частоты (63 МГц) на выходе диодов находятся в фазе и складываются на входной цепи УПЧ (катушки $L1$, $L2$). Противофазные составляющие, обусловленные мощностью гетеродина, взаимокompенсируются и не дают напряжения в выходной катушке входной цепи $L3$. На выходе смесительных диодов установлены разомкнутые шлейфы 5, 6, длиной менее $\lambda/4$, играющих роль ФНЧ. Для контроля токов смесительных диодов служат резисторы $R1$, $R2$, включенные в цепи катушек $L1$, $L2$ через ФНЧ.

Высокочастотная головка приемника МНРЛ (см. рис. 25) содержит преобразователь частоты для канала приема и АПЧ. Преобразователь частоты включает два балансных смесителя $E9$ (АПЧ) и $E10$ (приемный тракт) и гетеродин, собранный на лампе обратной волны (ЛОВ) $VL1$. Мощность гетеродина поступает в оба балансных смесителя через распределительный щелевой мост $E3$, где делится поровну. Постоянный attenuатор $E2$ в цепи гетеродина улучшает условия согласования для ЛОВ. Колебания гетеродина и сигнала от РЗП подаются в смесительную камеру $E10$ через щелевой мост $E8$. Встроенное включение диодов $VD3$, $VD4$ позволяет реализовать одноктактный выход преобразователя через разъем $X2$, подключаемый к предварительному УПЧ приемника. Для контроля тока диодов смесителя при его настройке путем регулировки мощности гетеродина переменным attenuатором $E5$ включен резистор $R2$. Цепь измерения контрольного напряжения имеет фильтр нижних частот $L6...L10$, $C7...C12$.

Входным колебанием для смесителя АПЧ является часть мощности магнетрона, подаваемая через предельный attenuатор $E6$. Построение смесителя АПЧ аналогично рассмотренному.

В приемниках низкой чувствительности может быть использована схема одноктактного смесителя. В приемнике самолетного ответчика дециметрового диапазона (см. рис. 26) одноктактный смеситель собран на диоде $VD2$. Диод включен в коаксиальный резонатор, подстраиваемый конденсатором $C7$, и нагружен на входную цепь УПЧ, содержащую катушку $L2$ с автотрансформаторной связью с транзистором $VT1$ и цепь контроля тока диода через гнездо $XS2$.

Высокочастотная головка самолетного радиовысотомера (см. рис. 27) содержит балансные смесители канала приема сигналов $WE2$ и канала автоподстройки частоты $WE1$, вентили развязки трактов излучения и приема сигналов $WS1—WS3$, эталонную линию задержки канала АПЧ $L1$. Вентили $WS1$, $WS2$ обеспечивают требуемое согласование митрона, используемого в качестве генератора в $G1$ (см. рис. 7) и кабеля от разъемного соединения с антенной.

Узел смесителей выполнен на симметричных полосковых линиях. Смесители $WE1$ и $WE2$ построены на кольце $1,5 \lambda$. Мощность гетеродина (часть мощности передатчика, поступающая через направленный ответвитель WES с согласованной нагрузкой WTS и attenuатор $WT4$ для смесителя приемника $WE2$) подается на смесительные диоды $VD3$, $VD4$ в противофазе за счет разности хода по кольцу в $\lambda/2$. Отраженный сигнал через разъем $XW5$ подается на диоды в фазе (равное расстояние по кольцу по $\lambda/4$). Разнополярное включение диодов при симмет-

рии балансного смесителя обеспечивает на его выходе (средняя точка резистора $R5$ относительно корпуса) подавление составляющих амплитудной модуляции на 20...30 дБ и суммирование сигналов разностной частоты. Режим работы диодов смесителя устанавливается путем регулировки величин гетеродинной мощности с помощью переменного аттенюатора $WT4$.

Контроль тока смесительных диодов осуществляется через гнезда $XP6$, $XP7$. Построение смесителя канала АПЧ аналогично схеме смесителя сигнала. Согласование смесителей с усилителями разностной частоты осуществляется с помощью автотрансформаторов.

3.4. УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Тракт промежуточных частот служит в приемнике для осуществления основной избирательности и основного усиления сигналов. На входе УПЧ сигнал невелик, так как преселектор и преобразователь частоты не обладают высоким усилением. УПЧ нагружен на детектор, для работы которого с малыми нелинейными искажениями требуется уровень сигнала порядка сотен милливольт. Поэтому УПЧ выполняется в виде многокаскадного усилителя с коэффициентом передачи порядка 60...80 дБ. Основная селекция сигнала в узкополосных приемниках осуществляется с помощью ФСС, устанавливаемых на выходе смесителя, т. е. на входе УПЧ — поэтому каскады УПЧ таких приемников выполняются аperiодическими или слабоизбирательными.

В радиолокационных приемниках импульсных сигналов применяются широкополосные УПЧ, которые могут быть построены по схеме с распределенной избирательностью. Избирательные контуры в этом случае устанавливаются в каждом усилительном каскаде. Особенностью УПЧ радиолокационных приемников высокой чувствительности, не содержащих УРЧ, является использование режима минимизации шумов в первом каскаде, что достигается при соответствующем коэффициенте включения входной цепи УПЧ, выборе электрического режима каскада, а также выборе усилительного прибора. Так, входной каскад ПУПЧ приемника МНРЛ «Гроза-154» выполнен на малошумящем приборе—нувисторе, в современных разработках используется малошумящие транзисторы.

Узкополосные приемники, построенные с использованием двух- и трехкратного преобразования частоты, дополнительно содержат каскады «первых» промежуточных частот. Если основная селекция сигнала происходит на «последней» промежуточной частоте, то предшествующие УПЧ выполняют, в основ-

ном, функцию селекции побочных каналов приема. В этом случае коэффициент передачи УПЧ, предшествующих ФСС, выбирается небольшим — это связано с опасностью появления нелинейных эффектов в смесителях. Каскады таких УПЧ могут не иметь активных элементов или содержат их в целях улучшения согласования избирательных систем. В некоторых случаях при использовании трехкратного преобразования частоты основная селекция сигнала происходит с помощью фильтров, стоящих после второго смесителя. Тогда основное усиление приемника может делиться на равные части между вторым и третьим УПЧ.

Схема УПЧ на биполярных транзисторах, работающего на частоте $f_{\text{пр}} = 1,6$ МГц, показана на рис. 33. УПЧ содержит три усилительных каскада на транзисторах $VT1-VT3$, включенных по схеме с ОЭ. Данная схема используется в приемнике радиостанции ЧМ сигналов, поэтому последний каскад УПЧ, собранный на транзисторе $VT4$, является усилителем-ограничителем. По этой же причине в схеме УПЧ отсутствуют цепи АРУ. Нагрузкой транзистора $VT4$ являются контуры частотного детектора $L1, C12$ и $L2, C17$. С выхода транзистора $VT3$ сигнал посту-

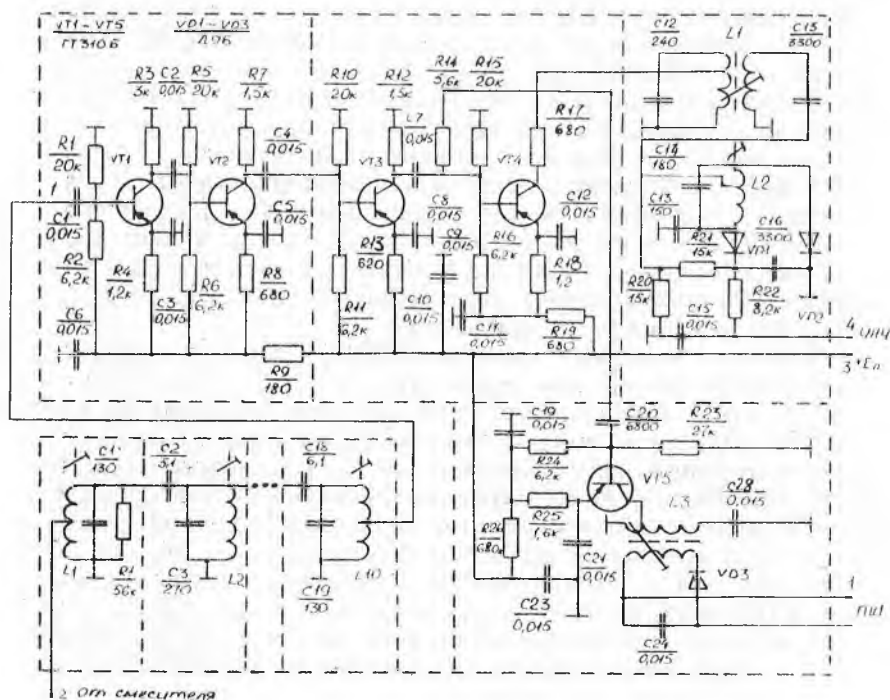


Рис. 33. УПЧ и ЧМ-детектор приемника «Тюльпан»

пает на линейный каскад УПЧ на транзисторе VT_5 , нагрузкой которого служит амплитудный детектор на диоде VD_3 . Каскады VT_5 и VD_3 необходимы для определения уровня напряжения промежуточной частоты, используемого для работы схемы подавителя шума.

Узкополосный УПЧ для усиления сигналов на высокой промежуточной частоте $f_{пр}=20$ МГц показан на рис. 28,б. Он содержит 4 каскада с резонансной широкополосной нагрузкой. Первый каскад УПЧ выполнен по каскодной схеме ОИ—ОБ на полевом тетроде VT_2 и биполярном транзисторе VT_1 . Применение полевого транзистора позволяет получить высокое входное сопротивление каскада, необходимое для сохранения высокой добротности ФСС, снизить нелинейные искажения при глубокой АРУ, а также малые шумы. Усиление каскада, определяемое биполярным транзистором VT_1 , оказывается достаточно большим. Режим каскада по постоянному току задается резисторами $R_2—R_5, R_8, R_{10}$; на второй затвор VT_2 подается через резистор R_6 управляющее напряжение АРУ. Делитель R_8, R_{10} создает на истоке опорное напряжение, необходимое для увеличения глубины АРУ. Нагрузкой первого каскада УПЧ является широкополосный контур L_1, C_5 . Для увеличения устойчивости каскодной схемы включен последовательный резистор R_7 . Конденсаторы $C_2—C_4, C_7$ — блокировочные.

Второй каскад УПЧ собран на полевом тетроде VT_3 , включенном по схеме с ОИ. Режим транзистора по постоянному току задается затворными и истоковым делителями. Нагрузкой VT_3 является широкополосный кварцевый фильтр Z_1 , обеспечивающий дополнительную (по отношению к ФСС) селекцию сигнала. Согласование Z_1 с транзисторами осуществляется с помощью контуров L_3, C_{11} и L_4, C_{14} . Транзистор VT_3 охвачен цепью АРУ путем подачи через резисторы R_9, R_{11} регулирующего напряжения на второй затвор.

Третий и четвертый каскады УПЧ собраны по каскодным схемам ОЭ—ОБ на биполярных транзисторах VT_4, VT_5 и VT_6, VT_7 . Нагрузкой каскадов служат одиночные контуры L_5, C_{18} и L_7, C_{23} . Для улучшения качественных показателей каскады охвачены отрицательной обратной связью с помощью резисторов R_{21}, R_{27} . Резисторы R_{20}, R_{26} увеличивают устойчивость каскадов. Режим по постоянному току задается базовыми делителями и эмиттерными резисторами. Конденсаторы $C_{16}, C_{17}, C_{19}, C_{20}, C_{22}, C_{24}$ — блокировочные. Питание к отдельным каскадам УПЧ подводится через фильтрующие цепочки LC -типа.

Усилитель *первой промежуточной частоты (УПЧ-1)* приемника импульсного самолетного дальномера (см. рис. 32,б, вклад-

ка) настроен на частоту 63 МГц. Он обеспечивает коэффициент усиления равный 50 при полосе пропускания $0,8 \pm 0,1$ МГц.

УПЧ-1 содержит три каскада на ИМС 235УВ1Б (ДА2—ДА3). Входная цепь УПЧ — широкополосный контур L8, C6, C7, связанный с выходом СВЧ смесителя. После второго каскада усиления в УПЧ включен ФСС-1, настроенный на частоту 63 МГц, обеспечивающий избирательность на первой промежуточной частоте. Фильтр Z1 состоит из пяти индуктивно связанных резонаторов L3—L7. Каждый каскад УПЧ-1 содержит два транзистора, включенных по схеме ОЭ—ОБ и третий, необходимый для АРУ. Нагрузкой каскадов являются одноконтурные фильтры, шунтируемые резисторами для расширения полосы пропускания, а также для ослабления влияния разброса параметров ИМС. Каждый каскад УПЧ-1 охвачен АРУ, напряжение регулировки подается через развязывающие фильтры (например L14, C14) на выход 7 ИМС. Развязывающие фильтры предотвращают попадание импульсных наводок в усилительные каскады.

Основная избирательность приемника реализуется на второй промежуточной частоте, выбранной равной 11,3 МГц. Основной фильтр приемника — семизвенный ФСС — включен в нагрузку второго смесителя VT1. ФСС состоит из параллельных контуров L19, C23, C26...L29, C52, C53 с емкостной связью между звеньями; он обеспечивает ослабление соседних каналов (± 1 МГц) не менее 50 дБ при полосе пропускания на уровне 3 дБ 350...550 кГц. Использование двух конденсаторов в первом и последнем контуре ФСС обеспечивает температурную стабильность.

Усилитель второй промежуточной частоты (УПЧ-II) состоит из 3-х каскадов: ДА5, ДА6, VT2. Полоса пропускания УПЧ-II выбрана равной 1 МГц, усиление — $3 \cdot 10^3$. В последнем каскаде введена ООС по току, что стабилизирует усиление. Нагрузка каскадов — одиночные контуры, связь между каскадами — автотрансформаторная, обеспечивает согласование каскадов. Резисторы шунтирующие контура необходимы для формирования полосы усилителя.

Усилитель промежуточной частоты приемника маркерного радиомаяка выполнен на микросхемах ДА1, ДА2 (см. рис. 20). Напряжение промежуточной частоты 10,7 МГц выделяется ФСС Z2 и через согласующий контур L8, C19, C20 поступает на первый каскад усиления. Параметры ФСС: полоса пропускания по уровню 6 дБ ± 15 кГц, неравномерность в рабочем диапазоне частот — не более 2,2 дБ, затухание при расстройке на ± 45 кГц — не менее 80 дБ. Каждая ИМС содержит два каскада усиления по схеме ОЭ—ОБ. В усилителе предусмотрена плавная регулировка усиления с помощью переменного резистора R15, регулирующего отрицательную обратную связь в первом каскаде

ДА1. АРУ осуществляется путем подачи напряжения регулировки с выхода усилителя АРУ на первые три каскада усиления. С выхода УПЧ сигнал поступает на АМ-детектор.

Тракт УПЧ приемника курсового радиомаяка разбит на УПЧ-1 (см. рис. 21) с первой промежуточной частотой, равной 18,5 МГц, и УПЧ-2 со второй промежуточной частотой — 2 МГц.

В УПЧ-1 осуществляется избирательность приемника по соседнему каналу с помощью пьезоэлектрических фильтров $Z1$, $Z2$, имеющих полосу пропускания 42 кГц. В качестве усилительного прибора в УПЧ-1 использован полевой тетрод $VT3$ 2П350Б, обеспечивающий малые нелинейные искажения и глубокую АРУ. Фильтры $Z1$, $Z2$ включены в цепи активных элементов с помощью широкополосных согласующих контуров $L5$, $C21$; $L6$, $C27$... $L8$, $C32$. После второго преобразователя частоты на ИМС ДА1 сигнал второй промежуточной усиливается каскадом $VT4$ и ИМС ДА2, дающей основное усиление приемника. Включение ДА2 255УВ3 выполнено в апериодическом режиме.

Усилитель промежуточной частоты с ЛАХ приемника МНРЛ (рис. 34, вкладка) настроен на частоту 30 МГц. Он предназначен для формирования требуемой полосы пропускания приемника и усиления сигналов в большом динамическом диапазоне амплитуд. Детектирование сигналов в линейном режиме осуществляется с помощью детектора, собранного на диоде $VD1$. УПЧ состоит из линейного каскада на транзисторе $VT1$, собранного по схеме с ОЭ, пяти каскадов усиления, собранных по каскадной схеме ОЭ—ОБ на транзисторах $VT2$, $VT3$... $VT14$, $VT15$, сумматора, состоящего из шести видеоусилительных каскадов на транзисторах $VT4$... $VT17$ с нагрузочным резистором $R54$. Избирательной нагрузкой первого каскада является двухконтурный фильтр $L3$, $C3$ и $L4$, $C5$, $C6$; нагрузкой остальных каскадов — одиночные контуры $L7$, $C11$... $L19$, $C33$. Входная цепь УПЧ собрана по трансформаторной схеме согласования с кабелем. Отрицательная обратная связь с помощью эмиттерного резистора $R4$ в первом каскаде (а также в последующих) повышает устойчивость усиления. Переменный резистор $R6$ служит для установки усиления первого каскада.

При малых сигналах УПЧ в целом работает в линейном режиме. При увеличении входного сигнала, начиная с определенного уровня, последний каскад $VT14$, $VT15$ переходит в нелинейный режим, и на его резисторе $R44$ появляется напряжение огибающей усиливаемого радиопульса, получаемое за счет детектирования на эмиттерном переходе $VT14$ (емкость $C30$ входит в фильтр детектора). Это напряжение сдвигает рабочую точку каскада в область меньшего усиления. При этом наклон амплитудной характеристики каскада уменьшается и далее зависит от амплитуды входного сигнала. Достаточно большой входной

сигнал вводит каскад в насыщение, и далее напряжение на резисторе R_{44} становится практически постоянным. При этом предыдущий каскад VT_{11} , VT_{12} начинает работать в нелинейном режиме. При еще большей входной амплитуде сигнала в нелинейный режим вступает каскад VT_8 , VT_9 и т. д. При суммировании продетектированных напряжений с каскадов и с диодного детектора VD_1 на сумматоре $VT_4...VT_{17}$ общая амплитудная характеристика УПЧ оказывается линейно-логарифмической.

Сумматор выполнен по схеме линейных усилителей, работающих на общую нагрузку — резистор R_{54} . Линейность обеспечивается за счет отрицательной обратной связи по току с помощью эмиттерных резисторов $R_{14}...R_{52}$, подбор которых позволяет изменять наклон амплитудной характеристики УПЧ; при этом точность логарифмирования больших сигналов составляет 10...15%. Для согласования с последующими блоками приемника применен видеоусилительный каскад на транзисторе VT_{18} .

УПЧ с ЛАХ приемника самолетного ответчика (см. рис. 26) построен по аналогичной схеме последовательного детектирования сигналов с суммированием на линии задержки. УПЧ содержит 8 каскадов и выполнен по схеме резонансного усилителя с попарно-расстроенными каскадами. Промежуточная частота приемника 24,4 МГц, полоса УПЧ около 7 МГц. Первый каскад собран на транзисторе VT_1 (ОБ), его усиление регулируется путем подачи напряжения на эмиттер через гнездо XP_2 по цепи ручной регулировки усиления. Для согласования со смесителем используется автотрансформаторная связь. Остальные каскады УПЧ собраны по каскодной схеме ОЭ—ОБ, обладающей высоким устойчивым усилением. Питание УПЧ осуществляется от двухполярного источника питания, что позволяет соединить базы транзисторов (ОЭ) с корпусом и упростить включение контуров. Последовательное детектирование сигналов осуществляется диодными детекторами VD_6 , VD_8 , VD_{12} . Суммирующий видеоусилитель собран на транзисторах VT_6 , VT_9 , VT_{12} , линии задержки L_9 , L_{10} , C_{25} , C_{38} , C_{43} . Каскад VT_{15} является выходным эмиттерным повторителем для передачи видеосигнала в блок обработки. Отличительной особенностью УПЧ является увеличение усиления первых каскадов по отношению к последующим, что достигается установкой дросселей L_3 , L_5 .

Предварительный усилитель разностной частоты приемника прямого преобразования радиовысотомера (см. рис. 27) содержит два каскада усиления на транзисторах VT_1 (ОЭ) и VT_2 , VT_4 (ОЭ—ОК). Входная цепь усилителя содержит автотрансформатор TV_1 для согласования со смесителем. Режим работы первого каскада по постоянному току стабилизируется резисторами R_7 , R_8 , R_9 , R_{11} . Для стабилизации усиления введена от-

рицательная обратная связь по напряжению с помощью резисторов $R8$, $R9$. Второй каскад имеет частотную характеристику с возрастающим коэффициентом усиления около 6 дБ/октаву. Формирование частотной характеристики обеспечивается с помощью емкости связи $C5$ и частотнозависимой обратной связи в эмиттере $VT2$ ($C6$, $C10$, $R20$). Общее усиление каскадов на частоте 160 кГц составляет 55 дБ. Эмиттерный повторитель на транзисторе $VT3$ служит для контроля сигнала после первого каскада усиления. Фильтры $R12$ $C2$, $R22$ $C9$ и $R16$ $C7$ необходимы для развязки каскадов по цепям питания.

3.5. ДЕТЕКТОРНЫЕ КАСКАДЫ

Диодные и транзисторные детекторные каскады, используемые в супергетеродинных приемных устройствах РТС ЛА, работают в режиме линейного детектирования. Схемы детекторов должны обеспечивать заданную величину искажений продетектированного колебания, обладать хорошей фильтрацией напряжения промежуточной частоты, иметь достаточное значение входного сопротивления и коэффициента передачи. Величина искажений, допустимая для детектора в случае АМ-колебаний, задается в виде коэффициента гармоник для тональной АМ и полосы воспроизводимых частот модуляции, в случае импульсных сигналов в виде допустимых значений фронта, спада плоской части и среза выходных видеопульсов.

Транзисторный детектор АМ-сигналов применен в схеме приемника, показанной на рис. 28,б. Детектор сигнала и АРУ собран на транзисторе $VT8$. Продетектированное напряжение звуковой частоты снимается с эмиттера $VT8$. Элементы $C27$, $R36$, $C29$ образуют фильтр детектора. Напряжение для цепи АРУ снимается с коллекторного резистора $R33$; конденсатор $C28$ — блокировочный по высокой частоте. Режим транзистора $VT8$ по постоянному току обеспечивается базовым делителем $R29$, $R30$, $VD1$ и эмиттерным резистором $R34$. Для обеспечения нормальной работы в заданном интервале рабочих температур в цепи базового делителя включен термокомпенсирующий диод $VD1$. Резистор $R31$ необходим для увеличения входного сопротивления детектора.

Детектор ЧМ-сигналов, собранный по схеме детектора со связанными контурами, применен в приемнике радиостанции «Тюльпан». Контур детектора $L1$, $C12$ и $L2$, $C14$ (см. рис. 33) являются напрузкой ограничителя на транзисторе $VT4$. Связь между контурами — индуктивная. Цепочка $R22$, $C15$ образует фильтр нижних частот. Резисторы $R20$, $R21$ создают «среднюю» точку для диодов $VD1$, $VD2$.

Детектор радиоимпульсов приемника самолетного дальномера (см. рис. 32) собран по последовательной схеме на диоде $VD1$. Цепочка $R26$, $C56$ является нагрузкой детектора. Для подачи смещения на диод детектора используется цепочка $R25$, $VD2$. Дроссель $L32$ и конденсатор $C57$ устраняют попадание высокочастотных составляющих напряжения на вход каскада видеоусилителя. Схемы импульсных детекторов, объединенные с УПЧ для получения ЛАХ, рассмотрены в п. 3.4.

3.6. КАСКАДЫ АРУ

Схемы АРУ служат для поддержания малых изменений сигнала на выходе приемника при больших изменениях амплитуды сигнала на его входе. В приемниках-АМ сигналов АРУ является необходимой и предотвращает искажения сигналов в тракте основного усиления. Особенно жесткие требования к АРУ предъявляются в приемниках радионавигационных систем, где искажения сигналов приводят к снижению точности навигационных данных. В импульсных приемниках каскады усиления охватываются различными по принципу действия цепями АРУ (ВАРУ, МАРУ, БАРУ), так как амплитудные искажения сигналов могут привести к снижению точности определения временных параметров сигналов.

В приемниках ЧМ-сигналов АРУ служит для уменьшения фазовых и частотных искажений, возникающих в УПЧ при значительном изменении амплитуды входных сигналов. Однако нормы на указанные искажения в приемниках связанных радиостанций (например носимые радиостанции серии «Тюльпан») позволяют обойтись без применения схем АРУ.

Схема усиленно-задержанной АРУ связного приемника диапазона МВ, выполненная на биполярных транзисторах, показана на рис. 35. АРУ охватывает оба каскада УРЧ приемника — транзисторы $VT1$ и $VT2$, а также первый каскад усилителя второй промежуточной частоты — $VT3$. Схема АРУ содержит детектор, собранный на диоде $VD2$, и двухкаскадный усилитель на транзисторах $VT4$, $VT5$.

Сигнал с выхода УПЧ приемника через конденсатор $C7$ поступает на вход детектора $VD2$, нагрузкой которого является цепочка $R20$, $C6$, включенная на входе транзистора $VT5$. При отсутствии сигнала на входе приемника (или при малой его величине) транзистор $VT5$ закрыт падением напряжения на резисторе $R17$, которое возникает за счет протекания базового тока открытого транзистора $VT4$. К промежутку база-эмиттер транзистора $VT5$ последовательно с падением напряжения на резисторе $R17$ прикладывается напряжение с выхода детектора,

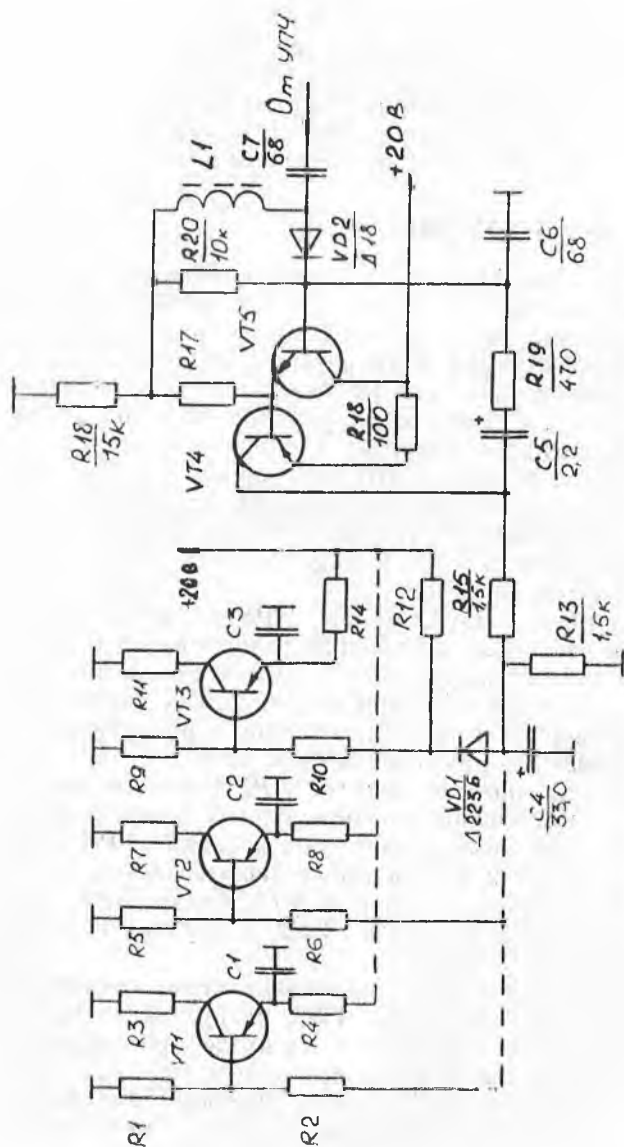


Рис. 35. Схема АРУ связанного приемника диапазона МВ

возникающее на резисторе **R20**. Таким образом, если принимаемый сигнал настолько мал, что напряжение на выходе детектора не превышает падения напряжения на резисторе **R17**, то напряжение на **R17** будет поддерживать транзистор **VT5** в закрытом состоянии, определяя величину задержки схемы АРУ. АРУ при этом не работает; коллекторный ток **VT4** максимален, и регулирующее напряжение на резисторе **R13** достигает максимального значения.

С приходом на детектор АРУ **VD2** сигнала величиной, превышающей напряжение задержки, потенциал на базе **VT5** становится положительным, транзистор открывается, напряжение база-эмиттер транзистора **VT4** падает, что вызывает уменьшение коллекторного тока. С уменьшением коллекторного тока **VT4** падает напряжение на резисторе **R13**, а напряжение база-эмиттер регулируемых каскадов возрастает. Это вызывает увеличение коллекторного тока регулируемых транзисторов и уменьшение напряжения коллектор-эмиттер. Выходное сопротивление регулируемых транзисторов падает, что приводит к уменьшению коэффициента усиления каскадов. Рабочий участок характеристики регулируемых транзисторов выбран таким образом, что при регулировке коэффициент усиления по току регулируемых транзисторов почти не меняется — это позволяет сохранять постоянными характеристики каскада при глубокой регулировке [8].

Таким образом, при увеличении сигнала на входе приемника коэффициент усиления каскадов, охваченных АРУ, уменьшается, и напряжение на выходе приемника изменяется мало. Цепочка **R19**, **C5** создает в усилителе АРУ отрицательную обратную связь по переменному току. Конденсатор **C4** определяет инерционные свойства АРУ. При глубокой регулировке усиления амплитуда сигнала, приходящего на транзистор **VT3**, может быть соизмерима с напряжением коллектор-эмиттер этого транзистора. Для того чтобы в этом случае не происходило перерузки каскада, в цепь АРУ введены элементы, ограничивающие предел регулировки — диод **VD1**, резистор **R12**. На катод диода **VD1** от делителя **R9**, **R10**, **R12** подается напряжение порядка 14...15 В, являющееся пределом регулировки. Напряжение АРУ на резисторе **R13** при малых сигналах на входе приемника составляет около 17...18 В. Диод **VD1** открыт, и потенциал базы определяется напряжением АРУ. При больших сигналах на входе приемника напряжение АРУ (приложенное к аноду диода) уменьшается и может стать равным или меньшим напряжения на катоде. Диод **VD1** при этом закрывается; при дальнейшем уменьшении напряжения АРУ потенциал базы **VT3** не меняется и определяется пределом регулировки.

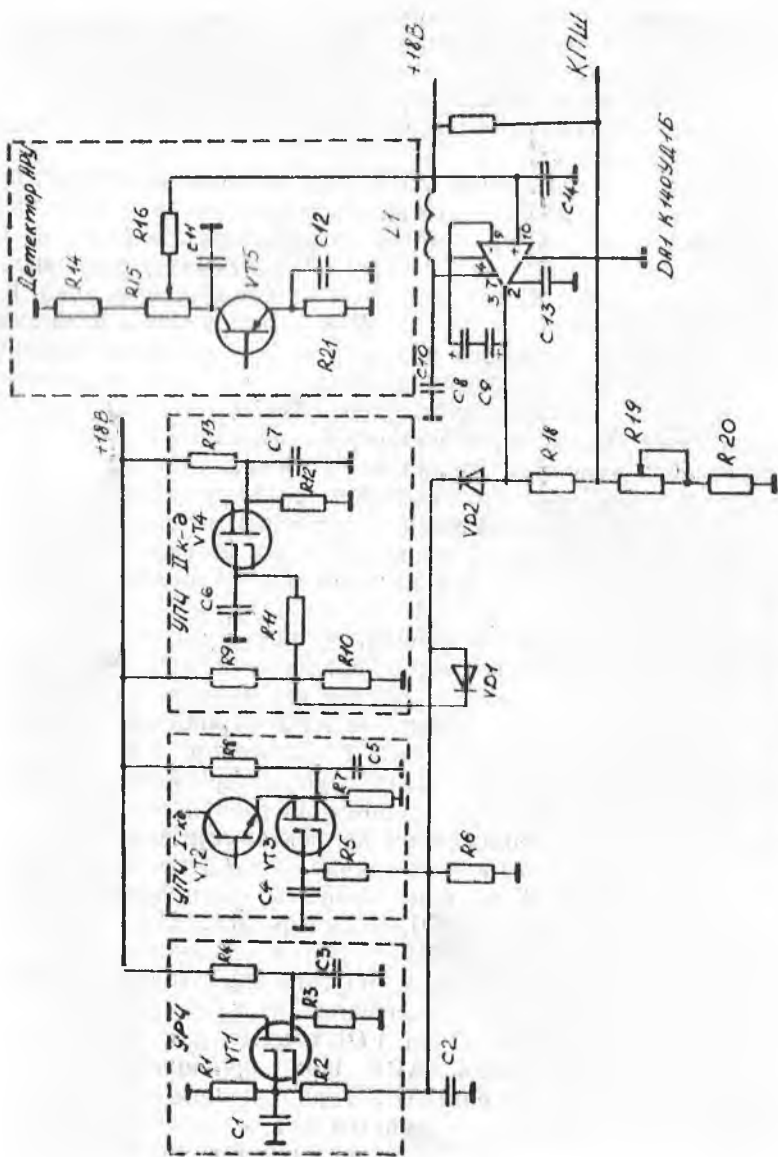


Рис. 36. Схема АРУ приемника «Баклан»

Схема АРУ с использованием операционного усилителя в качестве усилителя в цепи регулировки показана на рис. 36. Схема АРУ охватывает УРЧ и два первых каскада УПЧ приемника, выполненные на полевых транзисторах VT_1 , VT_3 , VT_4 . Транзистор VT_5 является детектором сигнала и АРУ. Напряжение, снимаемое с нагрузки детектора, через резистор R_{16} подается на вход операционного усилителя DA_1 . Нагрузкой DA_1 является резистор R_6 , напряжение с которого подается на затворы регулируемых транзисторов. Конденсаторы $C_1—C_7$ — блокировочные. Питание на операционный усилитель подается через фильтр L_1 , C_{10} . Усилитель DA_1 охвачен цепью отрицательной обратной связи по переменному току с помощью конденсаторов C_8 , C_9 . Фильтр АРУ включает в себя конденсатор C_{14} и резистор R_{16} . Истоковые делители напряжения на резисторах R_3 , R_4 ; R_7 , R_8 ; R_{12} , R_{13} создают опорное напряжение на истоках транзисторов, необходимое для улучшения глубины АРУ.

Для предотвращения перегрузки каскада транзисторов VT_4 при больших уровнях входного сигнала применена цепь, определяющая предел регулировки каскада и состоящая из диода VD_1 и резистивного делителя R_9 , R_{10} . Полевые тетроды обладают большой глубиной регулировки усиления при сохранении линейности. В рассматриваемой схеме уменьшение усиления каскадов происходит за счет уменьшения потенциалов вторых затворов транзисторов регулируемых каскадов при увеличении напряжения сигнала на входе приемника.

Узел ВАРУ приемника МНРЛ формирует напряжение, уменьшающее усиление ПУПЧ для отраженных сигналов, входящих с малых дальностей. Схема (рис. 37) содержит ждущий блокинг-генератор на транзисторе VT_1 , формирователь управляющего напряжения на транзисторе VT_2 и выходной эмиттерный повторитель VT_3 , VT_4 . Ждущий блокинг-генератор запускается отрицательным старт-импульсом, поступающим от передатчика. Положительный импульс с выходной обмотки трансформатора быстро заряжает конденсатор C_6 , который экспоненциально разряжается в промежутке между импульсами, когда VT_2 закрыт. В выходном эмиттерном повторителе к сформированному нарастающему напряжению добавляется старт-импульс, blankирующий приемник во время действия зондирующего импульса передатчика (рис. 38). С выхода узла ВАРУ регулирующее напряжение поступает в эмиттерную цепь транзистора усилительного каскада ПУПЧ.

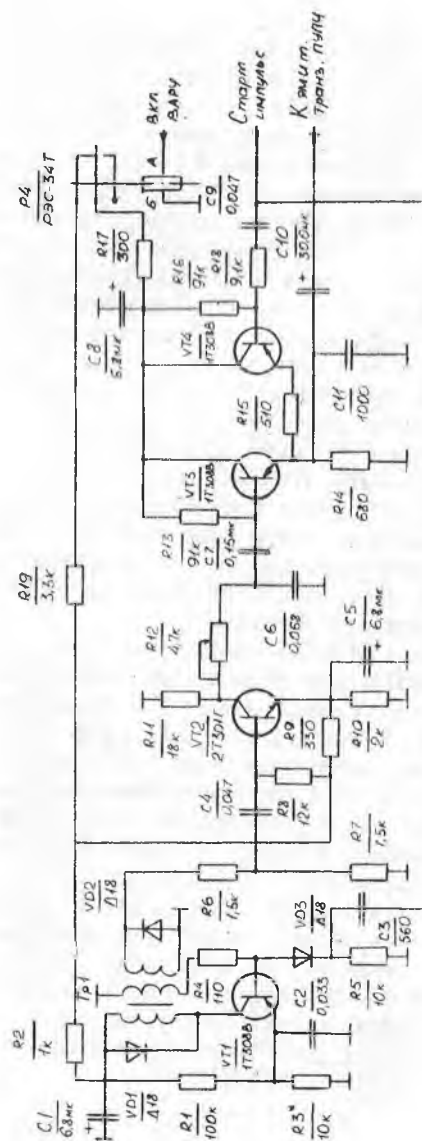


Рис. 37. Схема узла VARU МНРЛ «Гроза»

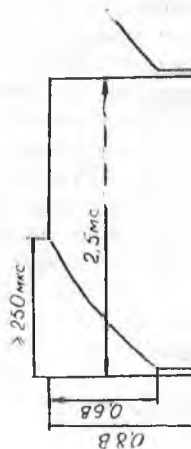


Рис. 38. Форма выходного напряжения узла VARU

3.7. УЗЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ НАСТРОЙКИ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Настройку диапазонных приемников бортовых радиосредств осуществляют дистанционно с ПДУ, расположенного в кабине пилотов. В качестве элементов настройки, входящих в состав колебательных систем преселекторов, используют варикапы и варикапные матрицы. При электронной настройке приемника упрощается построение схемы одновременной перестройки нескольких резонансных систем [8]. Для перестройки преселектора приемника по диапазону необходимо сформировать плавно или ступенчато изменяющееся напряжение, которое подают на варикапы для изменения их емкости.

Формирование управляющего напряжения осуществляется в матрице электронной перестройки по кодовому напряжению с ПДУ, определяемому положением ручек установки частоты приема, или в цифроаналоговом преобразователе цифрового синтезатора частоты приемника.

Схема матрицы электронной перестройки (МЭП) (рис. 39) содержит матричный дешифратор кода постоянного тока, собранный на диодах $VD1—VD24$ и резисторах $R1—R14$, и УПТ на транзисторах $VT1, VT2$. Сигнал управления на матричный дешифратор поступает от ПДУ по проводам $1Г—5Г$ и $6С$. В зависимости от кода управления дешифратор вырабатывает постоянное напряжение, которое после усиления в УПТ поступает на варикапы для настройки контуров. Перестройка контуров ступенчатая, с шагом в 1 МГц. Код управления формируется путем замыкания двух из пяти проводов $1Г—5Г$ на корпус (9 комбинаций) и замыкания на корпус провода $6С$ внутри каждой комбинации (всего 18 комбинаций). Каждая из 18 комбинаций устанавливается переключателем ПДУ «Единицы МГц», обеспечивая таким образом требуемое перекрытие диапазона перестройки преселектора. Формирование постоянного напряжения для варикапов преселектора происходит следующим образом.

Если ни одна из пар проводов $1Г—5Г$ не заземлена, то напряжение +20 В подается на резисторы $R1—R8$ двумя путями: во-первых, через резисторы $R9—R13$ и «нижние» (по схеме) диоды $VD1, VD3, VD4, \dots, VD24$ и, во-вторых, через резистор $R14$ и «верхние» диоды $VD2, VD5, \dots, VD23$. Поскольку резисторы $R9—R13$ выбраны гораздо меньшей величины, чем резистор $R14$, то «нижние» диоды открыты, а «верхние» закрыты. При этом напряжения с резисторов $R1—R8$ на вход УПТ не поступают.

При выборе частоты настройки замыкаются на корпус два из пяти проводов $1Г—5Г$. Это вызывает отключение двух «нижних» диодов от источника +20 В. Соответствующий «верхний» диод открывается, и на входе УПТ устанавливается напряжение,

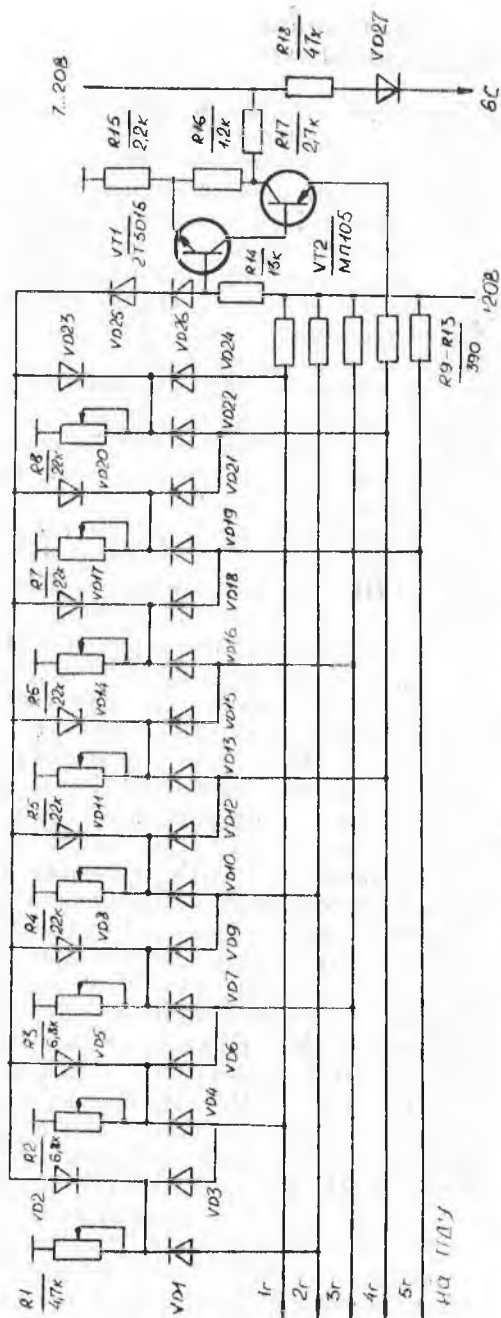


Рис. 39. МЭП приемника радиостанции диапазон МВ

определяемое подстроечным резистором из группы $R1—R8$. Таким образом, формируется 9 напряжений, соответствующих перестройке преселектора через 2 МГц.

Для перестройки контуров через 1 МГц напряжение на выходе УПТ может изменяться на величину, соответствующую изменению частоты настройки на 1 МГц. Предусмотрен делитель напряжения $R17$, $R18$, включение которого осуществляется замыканием провода 6С на корпус.

Перестройка гетеродинов приемников производится также электронным путем. В качестве примера рассмотрим способ перестройки генератора грубой сетки гетеродина приемника радиостанции диапазона МВ.

Схема генератора грубой сетки включает автогенератор на транзисторе $VT1$ и кварцевых резонаторах $Z1—Z9$ (рис. 40), схему выбора кварцевого резонатора на диодах $VD1—VD9$ и удвоитель частоты на транзисторе $VT2$. Кварцевый генератор работает на девяти фиксированных частотах в диапазоне 46,395 ... 54,395 МГц с шагом сетки 1 МГц. Колебательная система кварцевого генератора состоит из конденсаторов обратной связи $C12$, $C13$, кварцевого резонатора, работающего вблизи последовательного резонанса, и соответствующей индуктивности, выполняющей роль корректора частоты. Настройка генератора осуществляется включением одного из кварцевых резонаторов $Z1—Z9$ и соответствующих корректоров частот $L11—L19$ к схеме автогенератора. Включение происходит путем коммутации пары проводов управления 1Г—5Г на корпус, которая осуществляется в ПДУ. При этом один из диодов $VD1—VD9$ открывается, и кварцевый резонатор через открытый диод и соответствующую катушку индуктивности $L11—L19$ подключается к активной части генератора. Например, при подключении проводов управления 1Г, 2Г в ПДУ на корпус замыкается следующая цепь: источник питания +20 В, ФНЧ- $C21$, $L10$, $C25$; $R22$; $L11$; $V1$; $R1$ и $R2$, соединенные параллельно, ФНЧ- $C1$, $L1$, $C2$ и $C3$, $L2$, $C4$; корпус. Диод $VD1$ оказывается открытым. При этом остальные восемь диодов остаются в закрытом состоянии. Частота автогенератора определяется подключенным кварцевым резонатором $Z1$ и составляет 46,395 МГц.

Удвоитель частоты собран на транзисторе $VT2$ по схеме с общим эмиттером. Режим по постоянному току $VT2$ определяется резисторами $R21$, $R23—R25$. Нагрузкой коллекторной цепи транзистора является трехзвенный ФСС, зашунтированный для целей согласования резистором $R25$. Напряжение удвоенной частоты прикладывается через конденсатор $C26$ ко входу смесителя приемника.

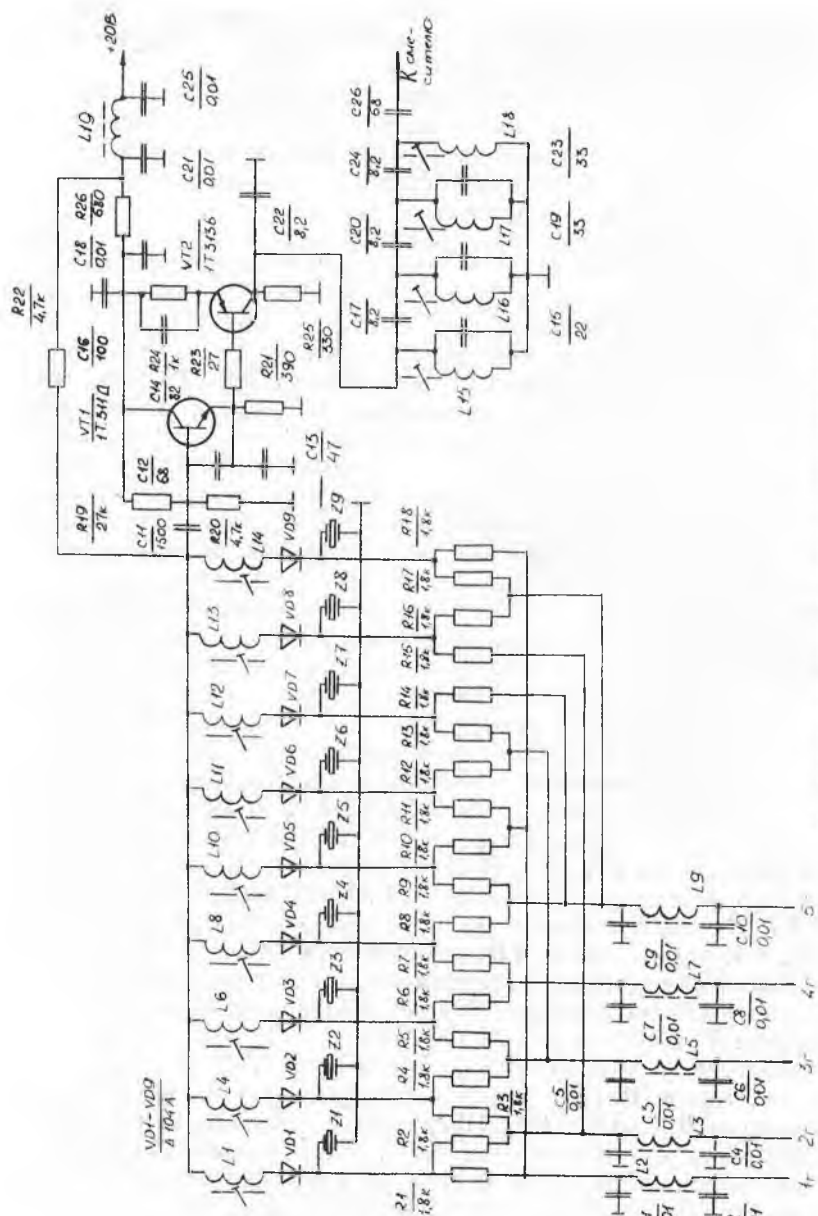


Рис. 40. Генератор грубой сетки частот гетеродина

Вспомогательные устройства приемников средств связи ЛА обеспечивают удобства в эксплуатации приемников. К таким устройствам относятся, в частности, ПШ, отключающие УНЧ при отсутствии сигнала в канале связи.

Схема ПШ (рис. 41) включает: усилитель шума на операционном усилителе $DA1$, детектор шума на диодах $VD2$, $VD3$, триггер Шмитта на усилителе $DA3$, ключ, входящий в состав микросхемы $DA2$.

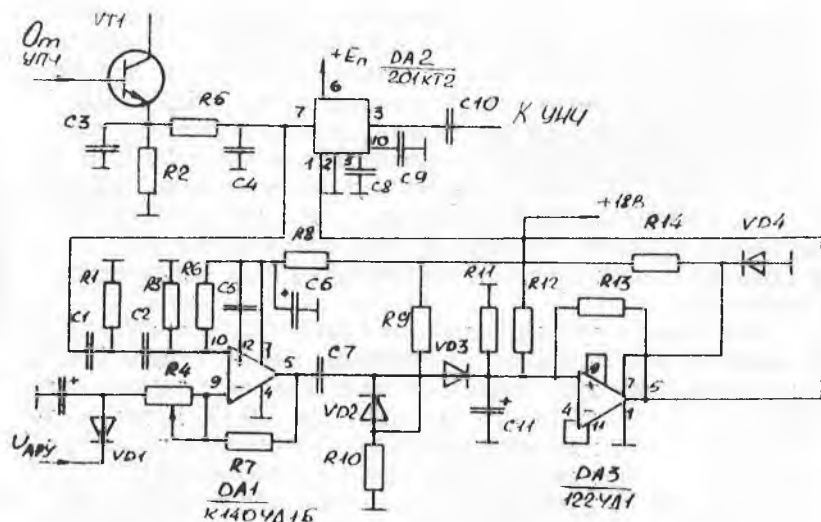


Рис. 41. Схема подавителя шума связной радиостанции

Продетектированный сигнал с выхода детектора приемника (транзистор $VT1$) поступает на двухзвенный ФВЧ, собранный на элементах $C1$, $R1$, $C2$, $R3$. ФВЧ обеспечивает подавление речевых составляющих сигнала и пропускание высокочастотных составляющих продетектированного шума. Напряжение с выхода ФВЧ поступает на вход усилителя шума $DA1$. На второй вход $DA1$ подается напряжение АРУ, управляющее работой ПШ. Усиленное напряжение шума детектируется детектором, собранным на схеме удвоения напряжения на диодах $VD2$, $VD3$. С выхода детектора постоянное напряжение поступает на вход триггера Шмитта $DA3$. При наличии на входе приемника очень слабого сигнала или только шума напряжение на выходе детектора шума достигает максимальной величины. При этом триггер $DA3$ срабатывает, и на его выходе (вывод 5) появляется постоянное напряжение, запирающее ключ микросхемы $DA2$.

Сигнал с выхода детектора сигнала не проходит в УНЧ, и в головных телефонах оператора не прослушивается шум. При появлении сигнала несущей частоты на входе приемника уровень шумов на входе усилителя *DA1* уменьшается (включается АРУ), соответственно напряжение на входе детектора шума и на входе триггера *DA3* уменьшается. Триггер опрокидывается, при этом его выходное напряжение уменьшается. Ключ *DA2* отпирается, и низкочастотный сигнал с выхода детектора *VT1* поступает в УНЧ.

При работе двух радиостанций с небольшим сдвигом несущих (в пределах ± 4 кГц) возможны биения между частотами, имеющими сдвиг, и частотой гетеродина приемника. Эти биения могут оказаться в полосе частот, пропускаемых ФВЧ ПШ. Чтобы при этом обеспечивалось нормальное прохождение сигнала, предусмотрена цепь автоматического отключения ПШ. Для отключения ПШ на инвертирующий вход усилителя шума *DA1* через диод *VD1* подается напряжение с выхода усилителя АРУ. При малых уровнях несущей сигнала напряжение АРУ велико, диод оказывается в запертом состоянии — цепь отключения ПШ не работает.

С увеличением сигнала на входе приемника напряжение АРУ уменьшается, что приводит к отпиранию диода. Режим *DA1* при этом изменяется таким образом: выходное напряжение падает, что приводит к опрокидыванию триггера *DA3*. В итоге схема *DA2* открывается и включается УНЧ. С помощью резистора *R4* регулируется порог автоматического отключения ПШ.

Расширение функциональных возможностей приемных устройств и повышение их эксплуатационных характеристик достигается путем использования в узлах электронной настройки и управления микропроцессорных средств. Эти средства при невысокой стоимости, малых габаритах и достаточной надежности позволяет решить ряд следующих важных задач по управлению приемником:

- управление по заданной программе синтезатором частоты и настройкой радиочастотных каскадов [31];

- управление схемой АРУ по любому заданному алгоритму;

- буквенно-цифровая индикация режимов работы и частоты настройки [7];

- встроенный контроль функционирования и техническая диагностика состояния с принятием решения о введении резервирования;

- управление работой схемы подавления шумов в связанных приемниках.

Использование в приемной аппаратуре микропроцессорных устройств позволяет при ограниченных затратах существенно

повысить помехоустойчивость и надежность приема сигналов за счет создания адаптивных трактов с управляемыми без участия оператора режимами работы (полосой пропускания, частотой настройки, включением различных видов модуляции, осуществляемыми по результатам оценки электромагнитной обстановки в точке приема).

Большой интерес вызывают связанные радиостанции с «перескоком» частоты [28]. В таких устройствах частота приема (и соответственно частота передачи сигналов) изменяется с периодом в несколько десятков миллисекунд по заданной программе. При выборе частот «перескока» в участках диапазона с разной помеховой обстановкой, изменяющейся во времени, можно повысить надежность приема сигналов. В то же время данная связь закрыта для несанкционированного доступа при передаче служебной информации.

Панорамный приемник автоматического контроля за работой радиостанций «Минилок» [28], предназначенный для работы в диапазоне от 10 кГц до 1010 МГц, содержит управляющее устройство на микропроцессоре М6800 (Motorola). Синтезатор частоты с многопетлевой фазовой АПЧ обеспечивает частотную точность $5 \cdot 10^{-8}$. Микропроцессорное устройство вычисляет частоты гетеродинирующих колебаний синтезаторов и частоту принимаемого сигнала с одним из видов модуляции: АМ, ЧМ, ФМ. Измерение частоты сигналов и параметров модуляции происходит за 0,1 с. Приемник обладает высокой чувствительностью $\sim 0,03$ мкВ в полосе 1 кГц и избирательностью 80 дБ при расстройке 20 кГц. В приемнике возможен обзор участков диапазона по заданной программе. Данный приемник удобно использовать для автоматического контроля за аварийными частотами связи воздушных и морских служб.

Непрерывное совершенствование радиотехнических средств обеспечения полетов ЛА и усложнение функций бортового радиоэлектронного оборудования ЛА обуславливают все более жесткие требования к приемным трактам аппаратуры. В то же время успехи в области электронной техники предоставляют разработчикам широкие возможности по формированию высокоизбирательных приемно-усилительных схем, сочетающих аналоговую обработку сигнала на высоких несущих частотах и переход к цифровой обработке при понижении частоты. Использование в бортовых устройствах быстродействующих микропроцессоров и запоминающих устройств большой емкости делает возможным построение «интеллектуального» поколения аппаратуры, способной обрабатывать большие массивы информации и решать новый круг задач, включая принятие решения об оптимальных режимах работы приемных устройств.

Основные направления совершенствования приемных устройств бортовой аппаратуры и наземных комплексов определяются тенденциями развития РТС ЛА, связанными с освоением новых диапазонов частот, интеграцией функций аппаратуры, позволяющей сократить число радиосредств на борту ЛА, более широким использованием для навигации глобальных спутниковых систем [15, 29, 30].

Развитие спутниковых систем связи предполагает переход к цифровым методам передачи речевых сообщений на основе использования помехоустойчивых сигналов с относительной базовой манипуляцией. Радиостанции, устанавливаемые на борту ЛА в рамках спутниковой системы связи для морских судов «Инмарсат», уже сейчас позволяют во время трансконтинентальных рейсов вести обмен информацией между экипажами и диспетчерами УВД, пассажирами и наземными абонентами, а также вести передачу цифровых данных. В рекомендациях ИКАО по перспективным РТС уделено большое внимание надежности спутниковой связи. Предполагается разработка систем с возмож-

ностью изменения скорости передачи данных в пределах 2,4...9,6 кбит/с в зависимости от реальной помеховой обстановки, что требует использования приемников с адаптивной структурой, реагирующих на помеховую обстановку.

В адаптивной системе связи диапазона МВ для снижения рабочих нагрузок операторов и обеспечения гибкости связи применена многопроцессорная система. Эта система оценивает электромагнитную обстановку в точке нахождения самолета и автоматически выбирает и задает необходимые параметры канала связи: частоту, вид модуляции, способ кодирования сообщения и т. п., — а также распределяет свободные каналы связи между абонентами [22].

В системах ближней навигации, по рекомендации ИКАО, намечен переход на СВЧ-систему посадки самолетов — *MLS*. Существующая система диапазонов МВ и ДМВ требует дорогостоящих наземных устройств; на точность ее работы существенное влияние оказывают метеоусловия (дождь, снег, влажность грунта и др.), состояние взлетно-посадочной полосы (сугробы снега, близлежащая растительность); кроме того, число частотных каналов системы не удовлетворяет современному уровню развития ГА. Система *MLS*, работая в диапазоне 5 ГГц, имеет 200 частотных каналов. Она формирует устойчивый и стабильный луч диаграммы направленности антенны и позволяет выбирать за счет высокой информационной емкости множество траекторий захода на посадку в соответствии с конкретными характеристиками самолета, тогда как существующая система предусматривает только одну траекторию. Введение в действие системы *MLS* позволит повысить безопасность полетов и уменьшить зависимость от метеоусловий [25].

Перспективные системы вторичной радиолокации кроме обнаружения самолета, опознавания и краткой информации о параметрах полета позволяют также вести связь с целью УВД. Для этого вводится режим адресного (селективного) запроса ЛА наземным РЛ [14]. При этом изменяется формат сигналов, посылаемых на борт и переизлучаемых ЛА на Землю. Для речевого сообщения и данных, необходимых для УВД, отводится 56-разрядное поле; поле адресного запроса позволяет иметь до 16 млн. запросных кодов, что достаточно для того, чтобы каждый самолет имел свой индивидуальный адрес. Приемник наземного РЛ подобной системы при дальности действия до 500 км и излучаемой мощности передатчика 2,4 кВт имеет чувствительность -125 дБ·Вт и коэффициент шума 7,9 дБ.

Увеличение чувствительности и расширение функциональных возможностей импульсных радиолокационных приемников за счет использования твердотельных малошумящих преселекто-

ров и цифровой обработки сигналов позволяет решать новые задачи радиотехнического обеспечения полетов ЛА. Так повышение безопасности полетов требует регистрации ветровых аномалий, возникающих на малых высотах в районе аэродрома. По данным Национального исследовательского центра США только за период с 1964 г. по 1982 г. по причине ветровых аномалий произошло 27 воздушных катастроф [27]. Линкольнской лабораторией Массачусетского технологического института закончена разработка автоматической системы регистрации сдвига ветра на основе доплеровского метеорологического РЛ. Принцип действия системы основан на измерении доплеровской скорости рассеивающих частиц (капли дождя, пыль, насекомые и т. п.), которые переносятся ветром. Временная структура отраженного сигнала аппроксимируется гауссовым случайным процессом, характеристики которого дают нужные метеорологические параметры. Для получения требуемого разрешения по дальности используется длительность зондирующего импульса 1 мкс, пиковая мощность передатчика выбрана порядка 1 МВт при номинальной дальности 15 км. При этом удается обнаружить практически любые атмосферные микровыбросы и обеспечить адекватную чувствительность для обнаружения фронтов ветровых порывов и сдвигов направления ветра [27].

Следует отметить, что совершенствование приемников РТС ЛА, наряду с развитием средств цифровой обработки сигналов, позволяет снизить мощность передатчиков бортовых радиосредств, что улучшает параметры ЭМС РЭС и общую электромагнитную обстановку. Так, например, использование твердотельного маломощного усилителя радиочастоты в радиовысотомере малых высот (РВ-85) позволило снизить излучаемую мощность более чем в 5 раз.

Развитие цифровых способов передачи и приема информации, появление быстродействующих преобразователей аналог — цифра вытесняет аналоговую схемотехнику приемных устройств в область все более высоких частот. Однако создание высокочувствительных приемников диапазонов ДКМВ и более коротких волн невозможно пока без маломощных аналоговых трактов радио- и промежуточных частот. Создать радиоприемные устройства, обладающие высокой надежностью и необходимыми эксплуатационными качествами, можно только на основе сочетания аналоговых и цифровых методов построения приемно-усилительных трактов.

Библиографический список

1. Авиационная радиосвязь: Справочник / П. В. Оляпюк, В. А. Русол, В. Н. Ганьшин и др. М.: Транспорт, 1989. 208 с.
2. Аппаратура потребителей спутниковой РНС «Навстар» / А. И. Волюнкин и др. // Зарубежная радиоэлектроника. 1983. № 4. 5.
3. Власов О. П., Гушин А. А., Макурии М. И. Самолетные ответчики гражданской авиации / РКИИГА, Рига, 1987. 98 с.
4. Волин М. Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Радио и связь, 1981. 296 с.
5. Голубев В. Н. Оптимизация главного тракта приема радиоприемного устройства. М.: Радио и связь, 1982. 144 с.
6. Егоров Е. И., Калашников Н. И., Михайлов А. С. Использование радиочастотного спектра и радиопомехи. М.: Радио и связь, 1986. 304 с.
7. Калихман С. Г., Шехтман Б. И. Цифровая схемотехника в радиовещательных приемниках. М.: Радио и связь, 1982. 104 с.
8. Качап В. К., Сокол В. В. Средства связи пассажирских самолетов. Киев: Вища школа. 1980. 280 с.
9. Князев А. Д., Кечнев Л. Н., Петров Б. В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. М.: Радио и связь, 1989. 224 с.
10. Князев А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1984. 336 с.
11. Кузеньков В. Д. Спутниковые системы радионавигации / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987. 108 с.
12. Кучумова И. П. Радиооборудование самолета ТУ-154 и его летная эксплуатация. М.: Машиностроение, 1978. 96 с.
13. Логачев А. Ф., Ефременков Ю. В. Средства радиосвязи управления воздушным движением. М.: Транспорт, 1987. 213 с.
14. Принципы построения и особенности конструкции аппаратуры РЛС с активным ответом для режима адресного запроса / Бейкер Дж. и др. // ГИИЭР. 1989. № 11. С. 101—113.
15. Развитие спутниковых систем аэронавигации, связи и управления воздушным движением: Обзор по материалам иностранной печати / Сост. Г. Д. Акимов / ЦНТИГА, М., 1978. 40 с.
16. Радиолокационные системы воздушных судов / П. С. Давыдов, А. И. Козлов, В. С. Уваров и др. / Под ред. П. С. Давыдова. М.: Транспорт, 1988. 359 с.
17. Радиостанции подвижной связи. Справочник. М.: Связь, 1979. 299 с.
18. Радиостанции комплекса «Гранит-М» / В. М. Кузьмин и др. М.: Радио и связь, 1982. 116 с.
19. Радиостанции комплекса «Лен» / В. М. Кузьмин и др. М.: Радио и связь, 1985. 120 с.
20. Радиотехническая система дальней навигации «Омега» / А. В. Стулов. УНТИ ГА, М., 1986. 44 с.
21. Радиотехнические устройства навигации летательных аппаратов: Учеб. пособие / В. В. Печенин, В. И. Луценко. / Харьков, авиац. ин-т. Харьков, ХАИ, 1987. 101 с.
22. Радиоэлектронное оборудование самолетного комплекса ДРЛО «Nimrod» // Радиоэлектроника за рубежом. 1983. № 16. С. 12—18.
23. Системы авиационной радиосвязи / В. А. Анисимов и др. М.: Транспорт, 1981. 239 с.

24. Сосновский А. А., Хаймович И. А. Радиоэлектронное оборудование летательных аппаратов: Справочник. М.: Транспорт, 1987. 256 с.
25. Фадден Д., Шваб Р. Использование бортовой навигационной аппаратуры в будущей системе УВД // ТИИЭР. 1989. № 11. С. 121—128.
26. Швед А. П., Ефременков Ю. В., Тягун Ф. Ф. Самолетное оборудование связи. М.: Транспорт, 1981. 216 с.
27. Эванс Дж., Терибулл Д. Разработка автоматической системы регистрации сдвига ветра на основе доплеровского метеорологического локатора // ТИИЭР. 1989. № 11. С. 73—88.
28. Ангелов А. М., Петров П. П. Микропроцессоры в радиотехнических системах. София: Техника, 1989. 352 с.
29. Improved reliability, readability seen with transceiver // Aviat Week and Space. Technol. 1981. V. 115. № 18. P. 57—59.
30. Freer D. Over the horizon: a view to the year 2000 and beyond // ICAO Bull. 1982. V. 37. № 12. P. 12—14.
31. Saul P. H., Mudd M. S. 1A 100 MHz output direct digital synthesiser. // Proc. Bipolar Circuits and Technol. Meet, Minneapolis, — Minn, Sept 21—22, 1987. New York. 1987. P. 125—128.

О г л а в л е н и е

Предисловие	3
Условные сокращения	
1. Принципы построения и основные электрические параметры приемных устройств РТС ЛА	4
1.1. Приемники дальней навигации	6
1.2. Приемники ближней навигации и посадки ЛА	8
1.3. Приемные устройства радиолокационных средств обеспечения полетов ЛА	12
1.4. Приемники средств авиационной радиосвязи	17
1.5. Электромагнитная совместимость приемников в системе бортового электрорадиооборудования	26
1.6. Особенности эксплуатации бортовых радиосредств	38
2. Структурное построение приемных устройств РТС ЛА	41
2.1. Общие принципы построения приемников	41
2.2. Приемники радиолокационных средств ЛА	44
2.3. Приемные устройства радионавигационных средств ЛА	52
2.4. Бортовые приемники средств связи ЛА	59
3. Схемотехника отдельных каскадов приемников	71
3.1. Элементная база для построения приемных трактов	71
3.2. Преселекторы	72
3.3. Преобразователи частоты	82
3.4. Усилители промежуточной частоты	92
3.5. Детекторные каскады	98
3.6. Каскады АРУ	99
3.7. Узлы электронной настройки, вспомогательные устройства	105
Заключение	112
Библиографический список	115

Калакутский Лев Иванович

**СХЕМОТЕХНИКА ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Г. А. Усачева
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 27.12.91 г. Подписано в печать 31.03.92 г.
Формат 60 × 84 1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. п. л. 7,94. Усл. кр.-отт. 8,18. Уч.-изд. л. 7,23 + 1,2 л. вкл.
Тираж 500 экз. Заказ 3. Арт. С1174-92.

Самарский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Тип. ЭОЗ Самарского авиационного института.
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.