

Л. И. КАЛАКУТСКИЙ

**ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ
И ИНТЕГРАЛЬНАЯ
СХЕМОТЕХНИКА
РАДИОПРИЕМНЫХ
УСТРОЙСТВ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ**

1 9 8 5

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

Л. И. КАЛАКУТСКИЙ

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ
И ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМОТЕХНИКА
РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве учебного пособия

КУЙБЫШЕВ 1985

Калакутский Л. И. Полупроводниковая и интегральная схемотехника радиоприемных устройств летательных аппаратов. — Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1985. — 79 с.

В книге рассматриваются вопросы схемотехники бортовых приемников средств связи летательных аппаратов; определяются требования к построению приемников и выбору основных электрических параметров, обусловленные эксплуатацией, а также обеспечением электромагнитной совместимости приемников в системе бортового электрорадиооборудования; приводится описание структурных и принципиальных схем приемников КВ и УКВ-радиостанций.

Пособие предназначено для студентов специальностей 0701, 0705, изучающих курсы радиоприемных устройств и микро-схемотехники.

Ил. 28. Табл. 8. Библиогр. — 27 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук доц. С. М. Тоскин,
канд. техн. наук. Н. Я. Яцен

Системы авиационной радиосвязи обеспечивают связь ЛА, находящихся в полете, между собой и с наземными службами УВД. Схема УВД, принятая, например, в гражданской авиации, предусматривает постояннодействующую связь с ЛА в течение всего полета — с момента запуска двигателей до момента заруливания на стоянку. На различных этапах полета ЛА связан двусторонней радиосвязью с диспетчерскими пунктами различных зон УВД, расположенными по всей трассе полета. Традиционной формой радиообмена между экипажами ЛА и диспетчерами службы УВД является двусторонняя радиотелефонная связь. Однако повышение скоростей, дальности и потолка полета современных ЛА требует увеличения пропускной способности радиоканалов, введения автоматизированной обработки информации, поступающей на борт. Для этих целей на борту сверхзвуковых и широкофюзеляжных самолетов устанавливаются ЭВМ, непосредственно по каналам связи принимающие информацию с диспетчерских пунктов УВД.

Для авиационной связи используются средства УКВ, КВ и СВ радиосвязи. К ним можно отнести бортовые радиостанции, оборудование наземных приемных и передающих центров связи, а также большое количество носимых и мобильных радиостанций, используемых для связи внутри аэродромных служб.

Радиоприемные устройства являются неотъемлемой составной частью систем авиационной радиосвязи, во многом определяющей эффективность и надежность связи. Функции радиоприемного устройства заключаются в частотной селекции, усилении принимаемого сигнала и получении в требуемой форме данных, передаваемых по каналу связи.

В зависимости от назначения приемники средств авиационной связи могут выполняться в виде самостоятельных конструкций, используемых, например, на приемных центрах связи, или в виде отдельных самостоятельных блоков радиостанций. С целью сокращения габаритов, веса, повышения экономичности и

надежности бортовые радиостанции часто строят по трансверальной схеме, при которой приемник и передатчик имеют общие блоки.

При проектировании радиоприемных устройств средств связи ЛА следует учитывать специфические требования, предъявляемые к бортовой и наземной аппаратуре и определяемые условиями ее эксплуатации. По своим параметрам бортовые приемники превосходят аналогичные наземные устройства. Выбор основных параметров приемников ЛА проанализирован в первом разделе пособия, здесь же кратко рассмотрены вопросы обеспечения электромагнитной совместимости бортовых приемников.

Второй раздел пособия посвящен разбору структурного построения приемных трактов радиостанций авиационной связи II и III поколения.

В третьем разделе освещены вопросы схмотехнического построения отдельных узлов бортовых приемников: преселекторов, преобразователей частоты, трактов усиления промежуточных частот и других каскадов.

В заключении рассмотрены современные тенденции развития средств авиационной радиосвязи.

Условные сокращения

- АДН — автоматическая дистанционная пристройка;
АМ — амплитудная модуляция;
АПЧ — автоматическая подстройка частоты;
АРУ — автоматическая регулировка усиления;
АСУ — антенно-согласующее устройство;
АТ — амплитудная телеграфия;
ВЦ — входная цепь;
ГВФ — гражданский воздушный флот;
ГПД — генератор плавного диапазона;
ДЦВ — дециметровые волны;
ИМС — интегральные микросхемы;
ИСЗ — искусственный спутник Земли;
КВ — короткие волны;
ЛА — летательный аппарат;
МДП — металл — диэлектрик — полупроводник;
МОП — металл — окисел — полупроводник;
МЭП — матрица электронной перестройки;
ОБ — общая база;
ОИ — общий источник;
ОМ — однополосная модуляция;
ОЭ — общий эмиттер;
ПДУ — пульт дистанционного управления;
ПШ — подавитель шума;
РЛС — радиолокационная станция;
СВ — средние волны;
СМВ — сантиметровые волны;
СПУ — самолетное переговорное устройство;
УВД — управление воздушным движением;
УКВ — ультракороткие волны;
УНЧ — усилитель низкой частоты;
УПТ — усилитель постоянного тока;
УПЧ — усилитель промежуточной частоты;
УРЧ — усилитель радиочастоты;
ФАПЧ — фазовая автоподстройка частоты;
ФВЧ — фильтр верхних частот;
ФНЧ — фильтр нижних частот;
ФСС — фильтр сосредоточенной селекции;
ЧМ — частотная модуляция;
ЭМС — электромагнитная совместимость.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРИЕМНИКАМ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ ЛА

1.1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Приемники средств связи ЛА работают при значительном уровне атмосферных и индустриальных радиопомех, а также при воздействии мешающих радиоизлучений бортовых радиотехнических систем различного назначения. В таких условиях одним из основных требований, предъявляемых к приемникам средств связи ЛА, является обеспечение их электромагнитной совместимости при работе в едином комплексе бортового электрорадиоборудования.

Кроме того, средства связи на борту ЛА работают в условиях сильных вибраций и ударов, перепадов давлений, шумов и резких изменений температуры. Все эти факторы в сочетании с требованиями высокой надежности связи и беспосковым вхождением в связь обуславливают определенные особенности выбора основных электрических параметров приемников средств связи ЛА.

1.1.1. ДИАПАЗОНЫ РАБОЧИХ ЧАСТОТ. ЧИСЛО КАНАЛОВ СВЯЗИ

Для связи с экипажами ЛА чаще всего используют диапазоны УКВ и КВ. Причем УКВ диапазону отдается предпочтение, так как связь на УКВ 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 УКВ радиолинии. Однако основным недостатком использования УКВ является ограниченная дальность связи. Так, даже при использовании мощных радиостанций аэродромных служб она не превышает несколько сот километров и существенно зависит от высоты полета ЛА [1]. Вся территория СССР, за исключением горных и труднодоступных районов, перекрыта УКВ связью. Это достигается установкой вдоль трассы полетов районных диспетчерских пунктов, оборудованных средствами радиорелейной и УКВ связи.

Коротковолновая связь является резервной по отношению к УКВ связи, также используется для организации дальней связи с ЛА и при их полетах на малых высотах, когда УКВ радиосвязь невозможна. Земные волны на КВ быстро затухают (связь возможна лишь на десятки километров), поэтому для дальних 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 КВ 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 КВ диапазон и часть СВ. (Связь на СВ ведется в районах, где ограничена возможность применения КВ радиосвязи, особенно в северных широтах [2]).

Наземные КВ радиостанции для связи с ЛА работают одновременно на нескольких частотах (семействе частот), подбираемых для условий распространения КВ днем, ночью, в зависимости от периода года и дальности связи. Это позволяет экипажу в полете выбрать для связи ту частоту из семейства частот, которая наиболее подходит для данных конкретных условий приема. Частоты связи для ЛА ГВФ установлены в соответствии с международными соглашениями ИКАО (Международной организации гражданской авиации) и являются едиными для всех типов ЛА (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Диапазоны частот авиационной радиосвязи

Назначение	Диапазон	Частота, МГц
Дальняя связь с ЛА	СВ	0,2—1,5
То же	КВ	2 —30
Ближняя связь с ЛА	УКВ	118—136
То же	ДЦВ	220—400
Служебная внутриаэродромная связь	УКВ, ДЦВ	Участки вокруг 40, 160, 330, 450

Требование бесперерывной и бесподстроечной связи, а также необходимость быстрого вхождения в связь на любой требуемой частоте заставляют отказаться в бортовых радиостанциях от главной перестройки приемников по диапазону принимаемых частот. Переход с одной рабочей частоты на другую происхо-

дит 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. 2 приведены рекомендованные ИКАО величины частотных интервалов для различных диапазонов частот связи.

Указанная в табл. 2 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 $(5-50) \cdot 10^{-4}$.

Таблица 2

Параметры частотных диапазонов связи

Диапазон частот, МГц	Частотный интервал, кГц	Число частот связи	Допустимая нестабильность частоты
0,2—1,5	2	650	$(1-3) 10^{-5}$
2—30	0,1	280 000	$0,5 \cdot 10^{-6*}$
118—136	25	720	$(20-30) 10^{-6}$
220—400	30	3600	$(5-15) 10^{-6}$

* Для радиостанций ОМ.

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

1.1.2. ВИДЫ РАБОТЫ СРЕДСТВ СВЯЗИ ЛА ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ ПРИЕМНИКОВ

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

Методы частотной модуляции не нашли широкого применения, так как выигрыш по помехоустойчивости при ЧМ дости-

гается при значительном расширении спектра ЧМ сигнала и 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.

Ограниченные участки диапазонов, выделенные для УКВ связи, требуют применения узкополосных методов модуляции для размещения максимального числа независимых каналов связи, да и сообщения, передаваемые по радиоперелиниям авиационной связи, достаточно узкополосные (не более 3400 Гц, что достаточно для обеспечения разборчивости речи). Поэтому команды УКВ радиостанции ближней связи работают в режиме двухполосной АМ. ЧМ применяется в малогабаритных носимых УКВ радиостанциях внутриаэродромной связи, работающих, как правило, на одной фиксированной частоте. Эти радиостанции относятся к средствам низовой подвижной связи и их параметры стандартизированы [3].

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 КВ диапазоне при телефонном режиме работы используется ОМ. ОМ отличается узкополосностью, большей помехоустойчивостью, что особенно важно в загруженном КВ диапазоне: сигналы с ОМ меньше подвержены замираниям при дальних связях. При глубине модуляции, близкой к единице, ОМ даёт восьмикратное улучшение отношения сигнала к шуму на выходе детектора по сравнению с двухполосной АМ при условии равенства пиковых мощностей передатчиков. Это позволяет существенно увеличить дальность связи [4]. В табл. 3 приведены основные виды модуляции, используемые в авиационной радиосвязи [1].

В табл. приняты следующие обозначения:

B — скорость телеграфирования, Бод;

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

$F_{\text{об}}, F_{\text{н}}$ — верхняя и нижняя частоты модуляции;

D — девиация частоты;


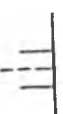


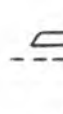
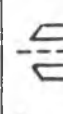
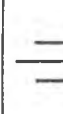
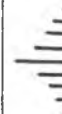
Ψ — индекс модуляции.

При определении полосы пропускания приемника учитывают нестабильность частоты передатчика $\Delta f_{\text{прд}}$, гетеродина приемника $\Delta f_{\text{г}}$, нестабильность настройки контуров промежуточной частоты $\Delta f_{\text{к}}$ и доплеровский сдвиг частоты:

$$\Pi = \Delta f_{\text{с}} + 2 \sqrt{[\Delta f_{\text{прд}}^2 + \Delta f_{\text{г}}^2 + \Delta f_{\text{к}}^2 + f_{\text{д}}]}; \quad (1)$$

$\Delta f_{\text{к}}$ обычно берется порядка $(3-5) \cdot 10^{-4}$ для многозвенных

Таблица 3
Характеристики видов работы

Модуляция	Вид спектра	Ширина полосы, Δf_c	Примеры расчета	
			Характеристика передачи	Полоса, Гц
Одноканальная телеграфия незатухающими колебаниями (A1)		αB	$B = 10 \text{ Бод}$ $B = 20 \text{ Бод}$ $B = 50 \text{ Бод}$	30 60 150
Тоняльная телеграфия (A2)		$2F_B + \alpha B$	$F_B = 900 \text{ Гц}$ $B = 20 \text{ Бод}$	1900
Радиотелефония, две боковые полосы (A3)		$2F_B$	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $F_B = 3000 \text{ Гц}$	6800 6000
Радиотелефония, одна боковая полоса с несущей (A3H)		F_B	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $F_B = 3000 \text{ Гц}$	3400 3000
Радиотелефония, одна боковая полоса с подавленной несущей (A3J)		$F_B - F_B$	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $F_B = 300 \text{ Гц}$	3100
Радиотелефония, две независимые боковые полосы (A3B)		$2F_B$	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $F_B = 3000 \text{ Гц}$	6800 6000
Частотная телеграфия (F1)		$2,2D + 2B$	$D = 500 \text{ Гц}$ $B = 50 \text{ Бод}$	1200
Частотная телефония (F3)		$2F_B$ $2F_B(1 + \Psi + \sqrt{\Psi})$	$F_B = 3400 \text{ Гц}$ $\Psi = 1$ $\Psi = 5$	6800 56005

фильтров и $(1-3) \cdot 10^{-4}$ для кварцевых [5];

$$f_{\text{д}} = \frac{v}{c} f_{\text{макс}}$$

здесь v — взаимная скорость ЛА;

c — скорость света; :

$f_{\text{макс}}$ — максимальная частота диапазона.

1.1.3. ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ

Частотно-избирательные свойства приемника определяются его резонансной характеристикой. Форма резонансной характеристики задается 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 КУВ связи ЛА подавление соседних каналов должно быть не менее 60 дБ, при частотном разnose соседних каналов ± 50 кГц. Избирательность приемников по неосновным каналам приема будет рассмотрена в 1.2.

1.1.4. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Для приемников ЛА 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 (особенно в КВ и СВ диапазонах).

1.2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ПРИЕМНИКОВ В СИСТЕМЕ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОРАДИООБОРУДОВАНИЯ

Непрерывный рост числа радиосредств, размещаемых как на борту ЛА, так и в районе аэродромов, возрастание уровня неумышленных радиопомех от промышленных установок и элект-

рических устройств различного назначения требует, чтобы на этапе проектирования была учтена электромагнитная обстановка, в которой будет действовать разрабатываемая аппаратура. Анализ этой обстановки позволяет выработать определенные требования по электромагнитной совместимости (ЭМС) различных радиосредств в системе электрорадиооборудования ЛА.

ЭМС является важнейшим свойством аппаратуры, определяющим возможность ее работы без ухудшения качественных показателей в заданной электромагнитной обстановке. 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. К ним относятся, например,

- ближней связи на УКВ,
- дальней связи на КВ,
- дальней навигации на КВ и ДВ,
- панорамной и координатной радиолокации на СМВ,
- телеметрии на УКВ,
- опознавания на ДЦВ и др.

В качестве примера в табл. 4 приведены выборочные характеристики радиоборудования пассажирского самолета Ту-154, а на рис. 1 расположение антенн на его борту [6].

Таблица 4

Бортовое радиоборудование самолета ТУ-154 [6]

Наименование бортовых радиосредств и их тип	Диапазон частот, МГц	Мощность излучения, кВт	Чувствительность приемника
Доплеровский измеритель скорости и угла сноса самолета ДИСС-ЗП	9430	0,005 Н	—139 дБ/Вт
Радиолокатор «Гроза-154»	9370	9,0 И	—130 дБ/Вт
Радиовысотомер РВ-5	4200—4400	0,0004 Н	—90 дБ/Вт
Самолетный дальнометр СД-67:			
канал запроса	1025—1150	1,25 И	
канал ответа	962—1213		—116 дБ/Вт
Радиосистема ближней навигации РСБН-2 СА:			
передатчик	770—812	1,0 И	
приемник	940—1000		—122 дБ/Вт

Окончание табл. 4

Наименование бортовых радиосредств и их тип	Диапазон частот, МГц	Мощность излучения, кВт	Чувствительность приемника
Самолетный ответчик СОМ-64:			
приемник	837,5		—84 дБ/Вт
передатчик	730—760	0,3—1,2 И	
Навигационно-посадочная система «Курс-МП-2»:			
курсовой приемник	108—117,95		3 мкВ
глиссадный приемник	329,3—335		8 мкВ
маркерный приемник	75		150 мкВ
УКВ радиостанция «Ландыш-20»	118—136	0,02 Н	3 мкВ
КВ радиостанция «Микрон»	2—24	0,4 Н	1 мкВ
Радиокомпас АРК-15	0,15—1,8		5—8 мкВ

Примечание. Излучение: Н — непрерывное, И — импульсное.

Проблема обеспечения ЭМС средств радиосвязи, устанавливаемых на борту ЛА, стоит достаточно остро, так как радиосвязь является единственным средством связи между землей и бортом ЛА, обеспечивающим безопасность полетов и управление воздушным движением.

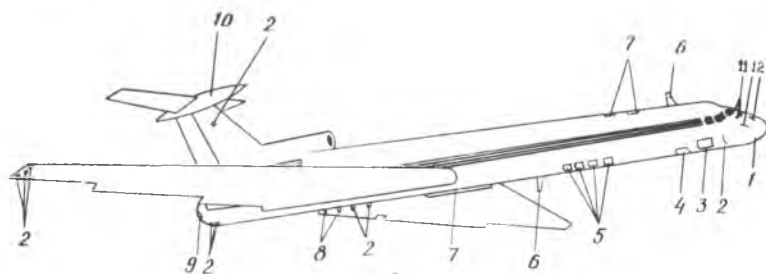


Рис. 1. Размещение антенных систем на борту самолета Ту-151: 1 — радиолокатор «Гроза»; 2 — ответчик; 3 — ДИСС-ЗП; 4 — маркерный приемник; 5 — радиовысотомеры № 1 и № 2; 6 — радиостанция «Ландыш»; 7 — АРК-15; 8 — СД-67; 9 — РСБН-2СА; 10 — радиостанция «Микрон»; 11 — глиссадный приемник; 12 — курсовой приемник

При решении вопросов ЭМС требуется рассмотреть влияние помех, действующих на аппаратуру. Электромагнитные помехи, действующие на аппаратуру, подразделяются на внутрисистемные и межсистемные.

1.2.1. ВНУТРИСИСТЕМНЫЕ ПОМЕХИ

Эти помехи воздействуют на отдельные блоки аппаратуры, соединительные кабели, подводящие и отводящие линии (рис. 2). Источниками таких помех на борту ЛА являются многочисленные электромеханические устройства — сервомоторы, реле, управляющие механизмы. Блоки мощного импульсного модулятора, фидеры РЛС могут давать непосредственные «наводки» на блоки других радиосистем, содержащие чувствительные усилители, работающие в широкой полосе частот.

Сильные помехи создаются бортовыми устройствами, работающими в импульсном режиме и дающими переходные процессы («броски» напряжения) в бортовой сети постоянного тока.

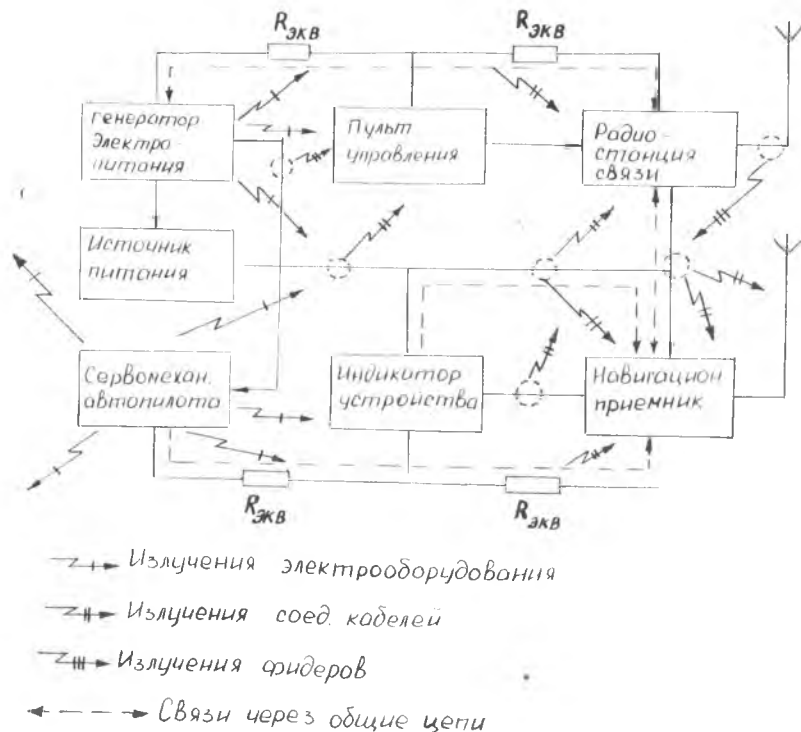


Рис. 2. Пути образования внутрисистемных помех на борту ЛА.

Нельзя не учитывать разряды статического электричества, возникающие на ЛА при полетах в грозовой облачности и вдоль грозových фронтов.

Основными методами снижения внутрисистемных помех являются рациональное конструирование аппаратуры, фильтрация и экранирование, улучшение монтажа аппаратуры и «заземления» на борту ЛА.

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, выполненные в виде самостоятельных конструктивных узлов.

Фильтрация широко применяется для ослабления помех, распространяющихся по общим цепям питания и управления различных устройств. Фильтры представляют собой ФНЧ *LC* или *КС* — типа, устанавливаемые в соответствующих цепях в непосредственной близости от входа в блок или субблок. Фильтрация ослабляет как «вход» напряжения помехи в блок, так и «выход» помехи из блока.

Наиболее эффективным способом борьбы с внутрисистемными помехами является *экранирование* источников помех. Действие электростатических экранов, выполняемых из материалов с высокой электропроводностью, основано на отведении на «землю» (корпус устройства) электрических зарядов, возникающих в результате действия помех. Иными словами, обрываются емкостные связи между источником и приемником помех. Электромагнитные экраны позволяют компенсировать электромагнитное поле помех электромагнитным полем противоположного направления, которое возникает из-за появления вихревых токов, образующихся в экране.

Особое внимание при разработке бортовой 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.

«*Заземление*» (электрическое соединение корпусов радио- и электрооборудования между собой и с элементами конструкции ЛА в единое электрически монолитное целое) позволяет использовать металлический корпус в его электрических сетях в качестве второго провода питания. Это в значительной степени устраняет помехи в аппаратуре, создаваемые разрядами статического электричества, а также экранирует блоки бортовой аппаратуры от излучения антенн собственных передатчиков.

В ответственных случаях для защиты бортовых систем от помех по цепям управления применяют гальваническую развязку внешних и внутренних цепей системы. Развязка осуществляется с помощью малоемкостных трансформаторов или оптронов [7]. Детальному рассмотрению внутрисистемных помех и методам их ослабления в радиоаппаратуре общего назначения посвящены работы [8, 9].

1.2.2. МЕЖСИСТЕМНЫЕ ПОМЕХИ

Эти помехи воздействуют на аппаратуру через антенны. К межсистемным помехам относятся помехи естественного и искусственного происхождения. К *естественным* помехам относятся:

атмосферные помехи, связанные с электрическими разрядами в атмосфере;

космическое и солнечное радионизлучение.

Искусственные помехи включают:

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.;

индустриальные помехи, обусловленные электромагнитными процессами в технике; источниками помех могут быть: генераторы промышленных установок, электроустройства с разрывными контактами и электродвигателями, электротранспорт, высоковольтные линии электропередач, система зажигания двигателей внутреннего сгорания и т. п.;

импульсы электромагнитного излучения, возникающие при коммутации силовых сетей.

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 связи ухудшение качественных показателей приемника: насыщение входных каскадов, блокирование приема, уменьшение соотношения сигнал/помеха. Причем, отмеченные явления могут происходить, даже если помеха не попадает в основную полосу пропускания приемника.

1.2.3. 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. Однако из-за несовершенства избирательных систем, нелинейности входных каскадов и других факторов приемник, настроенный на частоту f_c , оказывается восприимчивым к помехам, возникающим в антенне на частотах $f_{\Pi} \neq f_c$.

Величина восприимчивости приемника может определяться аналогично величине чувствительности — напряжением, подводимым ко входу приемника и дающим на его выходе номинальное выходное напряжение. Оценивается восприимчивость приемника к помехам 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 (но, разумеется, на различных частотах), и выражается 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.

1.2.4. ПОБОЧНЫЕ КАНАЛЫ ПРИЕМА

Побочные каналы приема образуются 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 взаимодействия напряжения мешающего сигнала и его гармоник с напряжением гетеродина и его гармоник, в результате чего образуются частоты, удовлетворяющие уравнению:

$$|pf_k \pm qf_r| = f_{\text{пр}} \pm \Delta f_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где f_k — частота комбинационного канала приема;

f_r — частота гетеродина;
 p, q — целые числа, набор которых определяется степенью нелинейности характеристик смесителя и гетеродина;
 Δf_{np} — половина полосы пропускания тракта промежуточной частоты.

Если уравнение (2) при выбранных значениях f_r и f_{np} выполняется для частоты помехи, то она не может быть отфильтрована в тракте промежуточной частоты, и пройдет на выход приемника вместе с полезным сигналом. При однократном преобразовании частоты в приемнике комбинационные частоты равны:

$$f_k = \frac{1}{p} |f_{np} \pm \Delta f_{np} \pm q f_r|. \quad (3)$$

Амплитуды комбинационных составляющих взаимодействующих напряжений зависят от характера нелинейности каскада и порядка $N = p + q$ преобразования. Уровень комбинационных помех убывает с ростом N и оказывается тем меньше, чем ближе характеристика смесителя к квадратичной. При квадратичном смесителе крутизна его характеристики линейна, поэтому при преобразовании частоты не образуется гармоник сигнала 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. 3). Если в приемнике име-

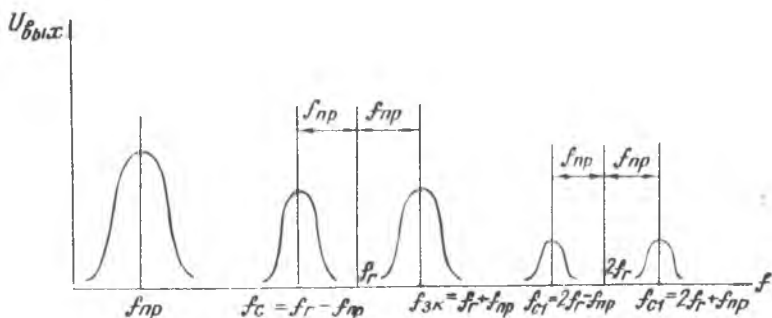


Рис. 3. Комбинационные каналы приема при однократном преобразовании частоты

ется двойное преобразование частоты, то количество потенциально возможных комбинационных каналов увеличивается, а расчет их усложняется [10]. При проектировании приемника заданную избирательность по комбинационным каналам приема обеспечивают [11—14]:

повышением избирательности преселектора (что не всегда возможно, так как приводит к значительному усложнению высокочастотных каскадов диапазонных приемников);

выбором сравнительно высокого значения $f_{\text{пр}}$ (порядка нескольких десятков МГц), что позволяет вывести зеркальный и другие комбинационные каналы за пределы полосы пропускания простого преселектора на любой частоте настройки приемника;

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

установкой в преселекторе запирающих фильтров, настроенных на промежуточные частоты;

применением балансных и кольцевых схем смесителей, ослабляющих отдельные комбинационные составляющие, схем с компенсацией зеркального канала и т. п.;

выбором относительно малого усиления преселектора, что позволяет уменьшить динамический диапазон сигнала на входе смесителя;

применением схем АРУ в усилителях радиочастоты.

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

$$|p_1 f_{k1} \pm p_2 f_{k2} \pm p_3 f_{k3} \pm \dots \pm q f_r| = f_{\text{пр}} \pm \Delta f_{\text{пр}}. \quad (4)$$

Причем интермодуляционные каналы могут образовываться за счет нелинейности каскадов, предшествующих смесителю, когда два (или более) мешающих сигнала дадут величину $f_{\text{пр}}$ или одну из комбинационных частот, определяемую по формуле (3). 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.

1.2.5. ВНЕПОЛОСНЫЕ КАНАЛЫ ПРИЕМА

Эти каналы образуются за счет воздействия 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 входного тока за счет напряжения помехи.

Перекрестная модуляция возникает за счет изменения коэффициента передачи каскада в такт с модуляцией мешающего сигнала.

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

$$K_{бл} = \frac{1}{4} \frac{S''}{S} U_{мп}^2; \quad K_{пер} = \frac{1}{2} \frac{S''}{S} m_n U_{мп}^2, \quad (5)$$

где S''/S — параметр, оценивающий нелинейность характеристики активного элемента (S'' — вторая производная крутизны, S — крутизна характеристики);

$U_{мп}$ — амплитуда напряжения помехи на входе активного элемента;

m_n — глубина модуляции помехи.

Из формул (5) можно определить 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 для входа активного элемента, определенного на частоте помехи.

Часто внеполосные каналы нормируют величиной двухсигнальной избирательности или динамического диапазона:

$$D_{бл} = 20 \lg \frac{U_{мп бл}}{E_A},$$
$$D_{пер} = 20 \lg \frac{U_{мп пер}}{E_A}, \quad (6)$$

где E_A — чувствительность приемника.

При задании норм в виде формул (6) полагается, что коэффициенты блокирования и перекрестной модуляции не превышают «безопасных» величин: $K_{бл} = 0,2 - 0,3$; $K_{пер} = 0,05 - 0,1$; а частота помехи соответствует соседнему каналу приема.

При проектировании приемника заданные нормы на внеполосные каналы приема обеспечиваются соответствующим выбо-

ром активного элемента входных каскадов и его режима (обычно полевые транзисторы). Положительный эффект дает установка во входной цепи аттенюатора; применение в схемах входных каскадов линеаризации, например введение 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 невятными, что дополнительно снижает мешающее действие перекрестных помех [10].

1.2.6. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭМС СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ

ЭМС средств радиосвязи ЛА может быть обеспечена комплексом организационных и технических мер, главными из которых являются [10—14]:

распределение частот между службами различного назначения; наглядный пример — распределение частот, на которых работают радиосредства самолета Ту-154 (см. табл. 4) ;

пространственный разнос приемо-передающей аппаратуры, так радиоприемные и передающие центры аэродромных служб удалены друг от друга на расстояние в несколько километров;

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

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

рациональное размещение антенн различных радиосредств на борту ЛА, ослабляющее их влияние друг на друга (см. рис. 1) ;

задание необходимой величины избирательности приемников по неосновным каналам приема.

Последний из перечисленных факторов в значительной мере определяет структуру приемников средств связи ЛА, которая будет рассмотрена ниже.

1.3. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОРТОВЫХ РАДИОСРЕДСТВ

Бортовые приемники средств радиосвязи работают в сложных, быстроизменяющихся условиях. При подъеме на высоту изме-

няется атмосферное давление, температура, влажность, радиация. Наличие этих факторов, а также действие постоянных вибраций, ускорений, ударов и акустических шумов заставляют предъявлять к схемотехническому и конструктивному выполнению аппаратуры специальные требования.

Давление и плотность воздуха с увеличением высоты полета резко уменьшаются, что приводит к изменению электрической прочности воздуха и теплоотдачи нагретой аппаратуры. 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—2500 м. Для облегчения режима работы аппаратуры в негерметичных отсеках используется принудительный наддув воздуха с давлением 0,6 ат и температурой не более +50°C.

Температура окружающей среды у поверхности Земли колеблется от +50 до —50°C, на высотах 15—18 км — от —30 до —80°C, затем примерно до 30 км температура постоянна (около —60°C) и далее растет пропорционально увеличению высоты. В большинстве случаев бортовая аппаратура ЛА должна работать при температуре от —60 до +50°C.

Вибрация, ускорения, ударные нагрузки действуют на бортовую аппаратуру в течение всего полета. Наибольшее влияние вибрации оказывают на избирательные и колебательные системы, проявляясь с одной стороны в виде виброшумов на выходе приемников и, с другой стороны, ухудшая стабильность гетеродинов. Вибрации могут изменять взаимное расположение проводников и радиодеталей, 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.

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 (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 компо-

новку аппаратуры на различных типах ЛА. Вибрационные нагрузки для радиоаппаратуры пассажирских самолетов 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 окончного устройства. Повышенный уровень шума, помимо ухудшения комфорта, отрицательно влияет на работоспособность экипажа и качество радиопередач. Шум в 90—100 дБ ослабляет внимание, затрудняет восприятие речевых сигналов.

В качестве окончного устройства на борту ЛА применяют стандартную авиационную гарнитуру, например типа АГЗ, включающую головные телефоны ТА-56М 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 БОРТОВЫХ ПРИЕМНИКОВ СРЕДСТВ СВЯЗИ ЛА

2.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ПРИЕМНИКОВ

Основными факторами, влияющими на структурное построение приемников ЛА, являются требования ЭМС, стабильности частоты настройки, беспонскового и безнастроечного вхождения в связь, а также обеспечение заданной чувствительности приемника при определенных видах работы. Указанные факторы в подавляющем большинстве случаев предопределяют выбор для средств связи ЛА супергетеродинной схемы приемника с однократным или многократным преобразованием частоты.

Выбор количества преобразований частоты определяется следующим. Исходя из требований высокой избирательности по комбинационным каналам приема, промежуточную частоту (первую) выбирают достаточно высокой (порядка нескольких десятков МГц) — 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 [15], позволяет в ряде случаев перейти от более сложных схем приемников с многократным преобразованием частоты к более простым схемам. (Сравним, в частности, приемники бортовых транзисторных УКВ-радиостанций «Ландыш» и «Балкан»).

Требование *стабильности частоты настройки* приемников ЛА 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 выполняются по простой схеме кварцованного автогенератора (например, приемники аварийных, спасательных КВ-радиостанций, или радиостанций внутриаэродромной связи — «Пальма», «Тюльпан», «Гранит М» [16]).

В диапазонных приемниках для формирования гетеродирующих напряжений применяют схемы синтезаторов частоты, формирующих ряд колебаний (сетку частот) с заданным интервалом (разносом) между ними. Ширина разноса 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 ЛА 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, 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. Способ прямого синтеза по типу применяемых узлов можно отнести к аналоговым способам, способ косвенного синтеза — к цифровым. Последний получает в настоящее время наибольшее распространение ввиду роста номенклатуры интегральных схем и повышения степени их интеграции. Так, разработаны микросхемы, представляющие собой управляемые делители частоты, генераторы, управляемые напряжением, схемы фазовой автоподстройки частоты [17].

Некоторые особенности построения приемников ЛА связаны с конструкцией антенных систем и размещением блоков приемника на борту ЛА. В КВ диапазоне в качестве антенны часто используется горизонтально расположенный штырь ограниченных размеров. Так на самолете Ту-154 для КВ-радиостанции дальней связи используется антенна верхнего емкостного питания в виде штыря длиной около двух метров, устанавливаемого в передней части верхнего обтекателя киля в направлении полета [18] (см. рис. 1). 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 диапа-

зоне 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 применяются антенно-согласующие устройства, 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 — и приводят 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, обеспечивающая беспереходное и бесподстроечное вхождение в связь. Схема АДН управляется с пульта дистанционного управления, который устанавливается 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 радиостанциями. Поэтому ПДУ содержит минимальное число органов ручного управления, к каким относятся, например, ручки набора цифр, соответствующих выбранному значению частоты связи на панели ПДУ, переключатель рода работ, регулятор громкости, кнопки контроля функционирования радиостанции. Подключение выхода приемника к авиагарнитурам экипажа ЛА осуществляется на щитке самолетного переговорного устройства, а переход на передачу происходит при нажатии на кнопку, расположенную в легко доступном месте — на штурвале управления ЛА.

2.2. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ПРИЕМНИКОВ УКВ-И КВ-РАДИОСТАНЦИЙ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ

В качестве примера реализации требований, предъявляемых к приемникам средств связи ЛА, рассмотрим построение прием-

ников УКВ- и КВ-радиостанций, устанавливаемых на самолетах и вертолетах ГВФ, а также используемых для организации внутриаэродромной радиосвязи. Основные характеристики рассматриваемых приемников приведены в табл. 5—7 [4, 6, 16, 18—20].

Таблица 5

Основные характеристики приемников УКВ-радиостанций ЛА ГВФ

Параметры	Единицы измерения	Радиостанции	
		«Ландыш»	«Баклан»
Диапазон частот	МГц	118—135,975	118—135,975
Разнос частот между соседними каналами связи	кГц	25	25
Число частот связи		720	720
Стабильность частоты		$\pm 3,5 \cdot 10^{-5}$	$\pm 10 \cdot 10^{-6}$
Чувствительность при частоте модуляции 1000 Гц, глубине модуляции 30%, напряжении 15 В на высокоомных телефонах и соотношении сигнал/шум, равном 3	мкВ	≤ 3	$\leq 2,5$
Полоса пропускания при ослаблении сигнала на:			
6 дБ	кГц	≥ 40	8
60 дБ	кГц	≤ 100	
70 дБ	кГц		≤ 37
Ослабление неосновных каналов приема	дБ	≥ 70	≥ 80
Коэффициент нелинейных искажений	%	≤ 10	≤ 10
Изменение напряжения на выходе при изменении входного сигнала от:			
10 мкВ до 0,1 В;	дБ	≤ 6	
5 мкВ до 0,1 В.	дБ		≤ 3
Неравномерность частотной характеристики в диапазоне 300—2500 Гц	дБ	≤ 6	≤ 6
Питание, борт. сеть	В	$27 \pm 10\%$	$27 \pm 10\%$
Потребляемая мощность	Вт	80	30
Время перестройки на соседнюю волну	с	≤ 1	≤ 1
Диапазон рабочих температур	°С	-40 — +50	-54 — +55

Таблица 6

Основные характеристики приемников КВ-радиостанций ЛА ГВФ

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		220 000	8100	160 000
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	≤ 5
в режиме АЗ/		≤ 1		≤ 3
в режиме А1		≤ 1		≤ 3
Полоса пропускания при ослаблении сигнала на:	кГц			
6 дБ в А1		0,35		
6 дБ в АЗ		6,4	8	7,8
54 дБ в АЗ				27,6
54 дБ в АЗ/				13,8
6 дБ в АЗ/		3,1		
Ослабление несосновных каналов приема:	дБ			
за полосой ± 7 кГц				54(АЗ/)
промежуточных частот		≥ 60	≥ 60	≥ 80
зеркальных		≥ 60	≥ 60	≥ 60
Неравномерность частотной характеристики в полосе 300—3400 Гц	дБ	≤ 6		≤ 6
Коэффициент нелинейных искажений	%	≤ 7		
Питание		115В, 400 Гц + 27 В	+ 27 В	+ 27 В
Потребляемая мощность	ВА	250		
	Вт	100		200
Масса радиостанции	кг	35	18	16

Т а б л и ц а 7

Основные характеристики приемников УКВ-радиостанций внутриаэродромной связи

Параметры	Единицы измерения	«Гюльпан» 22РТП-2-4М	«Пальма»	«Гранит» 50РТМ-А2-4М
Частота настройки	МГц	Из диапазона 140—174	Из диапазона 140—174	Из диапазона 33—46
Разнос частот между соседними каналами связи	кГц	50	50	25
Число частот связи		1	3	1
Стабильность частоты		$\pm 10 \cdot 10^{-6}$	$\pm 30 \cdot 10^{-6}$	$\pm 40 \cdot 10^{-6}$
Чувствительность при частоте модуляции 1000 Гц, девиации 5 кГц и соотношении сигнал/шум, равном 10	мкВ	$< 1,5$	$< 1,0$	$< 1,5$
Выходная мощность	мВт	> 40	> 500	> 1000
Полоса пропускания на уровне: 6 дБ 80 дБ	кГц	28	28	15 48
Ослабление неосновных каналов приема	дБ	> 70	> 70	> 70
Двухсигнальная избирательность по соседнему каналу	дБ	> 60	> 70	> 70
Коэффициент нелинейных искажений	%	< 15	< 10	< 10
Питание, аккумулятор	В	7,5	220 В, 50 Гц	12
Потребляемая мощность	Вт	$< 0,22$		7,5
Диапазон рабочих температур	°С	$-10 \dots + 50$	$-25 \dots + 50$	$-25 \dots + 50$

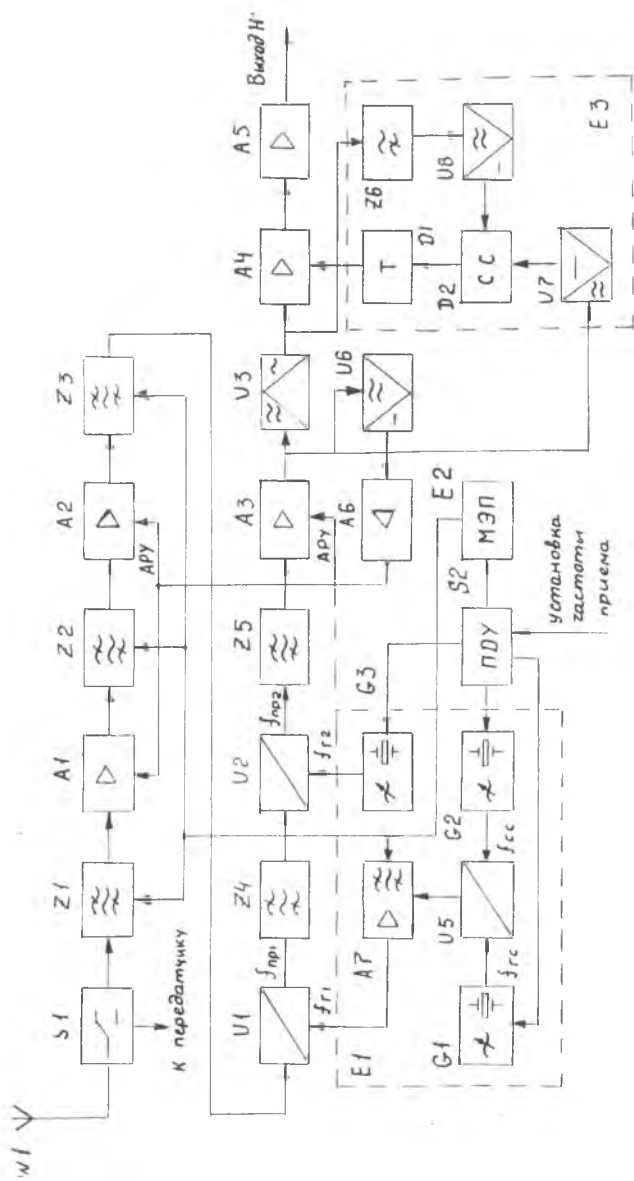


Рис. 4. Структурная схема приемника радиостанции «Ландыш»

2.2.1. ПРИЕМНИК РАДИОСТАНЦИИ «ЛАНДЫШ»

УКВ-радиостанция «Ландыш» предназначена для ведения симплексной двусторонней радиосвязи экипажами ЛА ГВФ с диспетчерскими службами УВД. Радиостанция построена на основании требований, предъявляемых к бортовой радиосвязной аппаратуре, и выполнена по трансиверной схеме с амплитудной модуляцией АЗ. Ряд ее каскадов: кварцевые генераторы, тракт гетеродина, матрица электронной перестройки, схема управления — используются как в режиме приема, так и в режиме передачи. Радиостанция обеспечивает беспоисковую и бесподстроечную связь. Дискретная сетка частот образуется по способу прямого синтеза с использованием набора переключаемых кварцевых резонаторов.

Приемник радиостанции «Ландыш» собран по супергетеродинной схеме (рис. 4) с двойным преобразованием частоты, при этом первая промежуточная частота переменная 15,005 — 15,080 МГц, вторая постоянная 1,6 МГц.

Напряжение с антенны $W1$ через переключатель $S1$ «прием—передача» поступает на одноконтурную входную цепь $Z1$, согласующую антенну со входом приемника, и далее на УРЧ. УРЧ собран по двухкаскадной резонансной схеме. Первый каскад $A1$ нагружен на двухконтурный полосовой фильтр $Z2$, выполненный по схеме с внутрииндуктивной связью между контурами. Построение второго каскада — $A2$ с нагрузкой $Z3$ повторяет первый каскад.

$A1$ ($A2$) представляет собой усилитель на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером. Избирательные системы $Z1$ — $Z3$ перестраиваются при изменении частоты принимаемых сигналов. Для этого в каждый контур включены варикапы, напряжение на которые подается с матрицы электронной перестройки $E2$, управляемой кодом, соответствующим комбинации цифр, набранной на ПДУ $S2$. Пятиконтурный преселектор обеспечивает необходимую избирательность приемника по комбинационным каналам приема, а также усиливает сигнал в полосе частот порядка 1 МГц для получения максимального соотношения сигнал/шум. Усиленное напряжение сигнала подается на первый смеситель $U1$. На другой вход $U1$ поступает напряжение первого гетеродина от синтезатора частоты $E1$. Синтезатор частоты содержит три высокостабильных кварцевых генератора: генератор грубой $G1$, средней $G2$ и точной сетки $G3$. Напряжение первого гетеродина формируется путем смешивания сигналов $G1$ и $G2$. Генератор $G1$ создает сигнал одной из девяти частот f_{G1} , в зависимости от частоты настройки приемника, в диапазоне 92,79 — 108,79 МГц с интервалом 2 МГц (рис. 5). Выбор той или иной частоты f_{G1} производится включе-

нием определенного кварца диодными ключами, которые управляются с ПДУ S2.

Генератор средней сетки G2 создает одну из 20 частот f_{G2} в диапазоне 10,205 — 12,105 МГц с интервалом 100 кГц. Выбор его частоты происходит аналогично. Напряжения G1 и G2 поступают на смеситель U5. В смесителе образуется одна из 180 частот первого гетеродина в диапазоне 102,995—120,895 МГц с интервалом 100 кГц путем сложения одной из частот генератора G1 и одной из частот генератора G2:

$$f_{r1} = f_{G1} + f_{G2}. \quad (7)$$

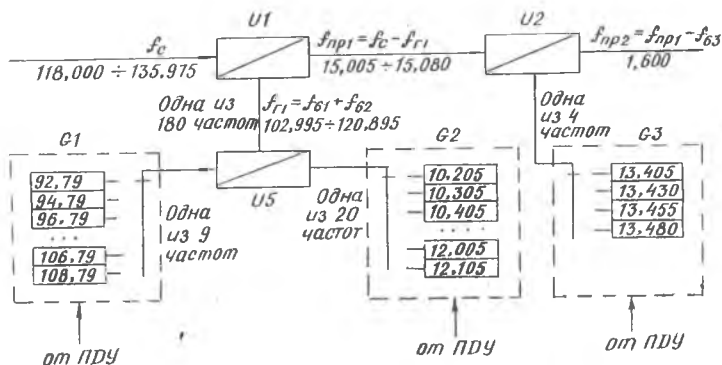


Рис. 5. Формирование сетки частот в приемнике радиостанции «Ландыш»

Напряжение первого гетеродина выделяется избирательным усилителем гетеродина A7, который перестраивается путем подачи напряжения на варикапы A7 от МЭП E2, управляемой с ПДУ S2.

В результате взаимодействия частоты сигнала и частоты первого гетеродина на выходе U1 образуется сигнал первой промежуточной частоты $f_{пр1}$ в диапазоне 15,005 — 15,080 МГц. Нагрузкой U1 является полосовой фильтр Z4, представляющий собой 4-контурный ФСС LC — типа со средней частотой, соответствующей $f_{пр1}$, и полосой около 75 кГц. Выделенный с помощью Z4 сигнал первой промежуточной частоты поступает на второй смеситель U2. Одновременно на U2 подается напряжение второго гетеродина. В качестве второго гетеродина используется генератор точной сетки частот G3 синтезатора E1. Он создает одну из четырех частот диапазона 13,405—13,480 МГц с интервалом 25 кГц. Нагрузкой U2 является ФСС Z5, выделяющий вторую промежуточную частоту, равную 1,6 МГц. ФСС представляет собой 12-звенный LC-фильтр, обеспечивающий избирательность приемника по соседнему каналу. С выхода Z5 сигнал поступает

на усилитель второй промежуточной частоты УПЧ-2 (А3), осуществляющий основное усиление сигналов в приемнике.

А3 представляет собой трехкаскадный аperiodический усилитель на транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером. С выхода А3 сигнал поступает на детектор сигнала У3, собранный по последовательной диодной схеме. Продетектированный сигнал поступает на предварительный А4 и окончательный А5 УНЧ, позволяющие подключить на выходе приемника несколько комплектов авиационной гарнитуры типа АГ-3, содержащей два последовательно соединенных головных телефона ТА-56М.

Приемник охвачен высокоэффективной схемой АРУ. Схема АРУ выполнена с усилением и задержкой. Схема обеспечивает малые изменения амплитуды сигнала на выходе приемника — 6дБ при изменении сигнала на входе на 80 дБ. Элементами АРУ являются диодный детектор У6 и двухкаскадный усилитель постоянного тока А6. АРУ охвачены оба каскада УРЧ (А1 и А2), а также первый каскад УПЧ-2 (А3).

В состав приемника входит ПШ Е3, служащий для автоматического отключения УНЧ при отсутствии сигнала на входе приемника или при слабых неразборчивых на фоне шумов сигналах. ПШ запирает предварительный УНЧ-А4 при соотношении напряжения сигнал/шум, не превышающем значения, равного 3. В схеме ПШ Е3 происходит сравнение двух напряжений: одного пропорционального амплитуде шума, а второго — амплитуде сигнала плюс шума.

Для формирования первого напряжения сигнала с выхода детектора У3 подается на фильтр верхних частот Z6, пропускающий высокочастотный спектр шума от 8 до 30 кГц, и далее на детектор шума У8. Второе напряжение формируется с помощью детектора У7, на который подается сигнал с выхода УПЧ-2 А3. Выходы детекторов У7 и У8 подключены к схеме сравнения Д2, связанной с триггером Д1. При нужной величине превышения напряжения с выхода У7 над напряжением с выхода У8 триггер Д1 устанавливается в устойчивое состояние, обеспечивающее включение УНЧ. Если уровень сигнала мал по сравнению с уровнем шума, триггер Д1 меняет свое состояние, запирая УНЧ.

Применение ПШ позволяет устранить утомляющий оператор шум в головных телефонах при свободной радиолинии.

2.2.2 ПРИЕМНИК РАДИОСТАНЦИИ «БАКЛАН»

УКВ-радиостанция «Баклан» предназначена для ведения симплексной радиосвязи экипажами ЛА ГВФ между собой и с диспетчерами службы УВД. Радиостанция собрана на трансиверной схеме с амплитудной модуляцией АЗ. Синтезатор частоты ис-

пользуется в режиме приема как источник гетеродинного 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 с однократным преобразованием частоты (рис. 6); 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 внутриндуктивной связью между контурами. Усилитель радиочастоты (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-тетроде, 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 входящего 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 $S2$. 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

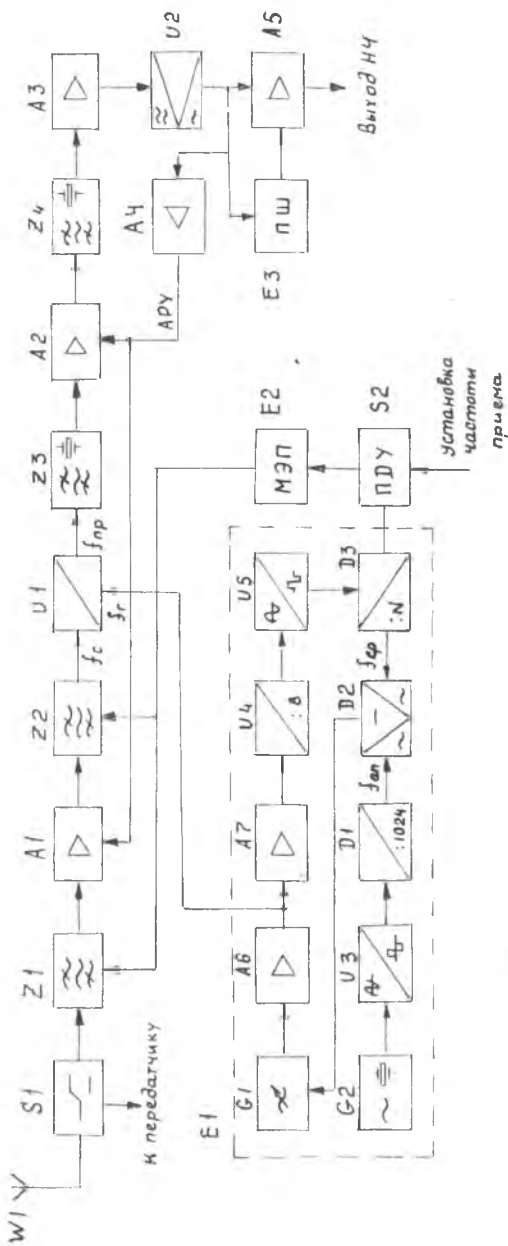


Рис. 6. Структурная схема приемника радиостанции «Баклан»

широкополосный кварцевый фильтр Z_4 , обеспечивающий дополнительную селекцию сигнала. Сигнал с выхода УПЧ поступает на детектор U_2 , напряжение с которого подается на вход УНЧ A_5 , схему ПШ E_3 , а также в цепь АРУ. АРУ необходима для стабилизации уровня выходных сигналов приемника при изменении амплитуды входных сигналов. Схема АРУ выполнена усиленной (A_4) и охватывает УРЧ (A_1) и два первых каскада УПЧ (A_2). Такая схема обеспечивает динамический диапазон АРУ около 80 дБ. УНЧ обеспечивает подключение на выходе приемника авиационной гарнитуры АГ-3.

Рассмотрим построение синтезатора частоты E_1 . Генератор плавного диапазона G_1 генерирует частоты 138—155,975 МГц в зависимости от величин постоянного напряжения, подаваемого на его управляющий вход, с шагом дискретности 25 кГц. Напряжение с G_1 усиливается широкополосным услителем A_6 и с его выхода поступает в смеситель приемника. Частота G_1 подстраивается схемой фазово-импульсной АПЧ. С этой целью колебания G_1 с выхода A_6 подаются на буферный усилитель A_7 и далее на высокочастотный делитель частоты U_4 с постоянным коэффициентом деления, равным 8. Формирователь U_5 преобразует синусоидальные колебания в прямоугольные, которые подаются на делитель частоты D_3 , где любая частота $G_1 - f_{\text{э1}}$ понижается до частоты сравнения $f_{\text{ср}}$, которая выбрана равной 6,25 кГц. Выбор $f_{\text{ср}}$ производится следующим образом. С одной стороны,

$$f_{\text{ср}} = \frac{f_{G_1}}{m_1 N_1}, \quad (8)$$

где $m_1 = 8$, N_1 — коэффициент деления.
С другой стороны,

$$f_{\text{ср}} = \frac{\Delta f}{m_1 K}, \quad (9)$$

где $\Delta f = 25$ кГц — шаг сетки частоты;

$K = 0,5$ — дробный коэффициент деления D_3 .

Частота сравнения подается на один из входов частотно-фазового детектора D_2 . На второй вход D_2 подается опорная частота $f_{\text{оп}}$, пониженная до частоты сравнения с помощью делителя D_1 . Коэффициент деления D_1

$$n_1 = \frac{f_{\text{эт}}}{f_{\text{ср}}}, \quad (10)$$

где $f_{\text{эт}}$ — частота эталонного генератора G_2 .

В схеме синтезатора в качестве G_2 используется кварцевый термостабилизированный автогенератор с частотой 6,4 МГц, таким образом $n_1 = 1024$.

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, чтобы выходная частота, поступающая с $D3$, стала равной частоте сравнения.

Условие сравнения частот выражается равенством

$$\frac{f_{ЭТ}}{n_1} = \frac{i_{G1}}{m_1 N_d} \quad (11)$$

Отсюда, подставив числовые значения, приведенные выше, получим

$$f_{G1} = 50 N_d, \text{ кГц.} \quad (12)$$

Таким образом, для обеспечения всего диапазона гетеродинирующих 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 позволило реализовать синтезатор частоты в виде малогабаритной конструкции.

2.2.3. ПРИЕМНИК РАДИОСТАНЦИИ «ЯДРО»

КВ-радиостанция «Ядро» предназначена для ведения дальней радиосвязи экипажами ЛА ГФВ с диспетчерами службы УВД. Радиостанция работает в телефонных режимах АМ ($A3$) и ОМ ($A3J$) и телеграфном АТ ($A1$). Радиостанция выполнена по трансверсной схеме. Приемник радиостанции построен по супергетеродинной схеме с трехкратным преобразованием частоты (рис. 7); 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 автоподстройки частоты. В качестве опорного генератора используется термостатированный кварцевый генератор. Интересной особен-

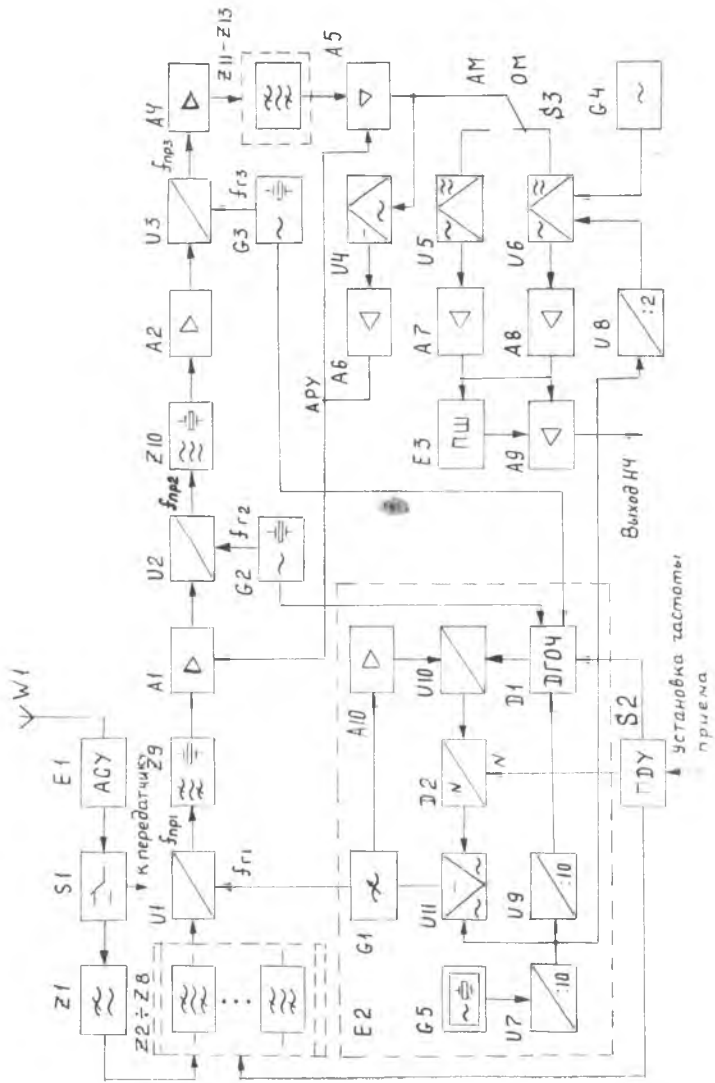


Рис. 7. Структурная схема приемника радиостанции «Ядро»

ностью 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 УКВ средствами связи, 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 $E2$. $U1$ является первым активным каскадом приемника, определяющим его внутренние шумы и восприимчивость к несновным каналам приема. Поэтому первый смеситель собран по балансной схеме на полевых транзисторах.

Преобладание внешних помех над собственными шумами в КВ диапазоне, 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 однокаскадный УПЧ-2 $A2$, с которого сигнал $f_{пр2}$ поступает на вход третьего смесителя $U3$. На $U3$ с кварцевого гене-

ратора $G3$ поступает напряжение третьего гетеродина частотой 36 МГц. Полученное в результате вычитания напряжение третьей промежуточной частоты 500 кГц поступает на однокаскадный усилитель $A4$ 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 $f_{\text{прз}}$ поступает на трехкаскадный УПЧ-3 $A5$, где происходит основное усиление сигнала. $A5$ выполнен резонансным на полевых транзисторах, с его выхода сигнал поступает на детектор АРУ $U4$. Цепь АРУ, содержащая усилитель постоянного тока $A6$, охватывает УПЧ-1 $A1$ и УПЧ-3 $A5$. В зависимости от выбранного вида работы с помощью $S3$ включается детектор АМ $U5$ или детектор ОМ $U6$. В режиме ОМ на $U6$ подается опорный сигнал (восстановленная несущая) частотой 500 кГц с синтезатора частоты. Для приема сигналов АТ используется тональный генератор $G4$, дающий на выходе детектора биение звуковой частоты.

Тракт низкой частоты содержит усилительные каскады $A7-A9$, а также ПШ $E3$. 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 $A9$ при отсутствии речевых сигналов на частоте приема.

Синтезатор частоты $E2$ приемника содержит термостатированный кварцевый генератор $G5$ с частотой 10 МГц. В результате последовательного деления с помощью делителей $U7$ и $U8$ получается частота 500 кГц, используемая в детекторе ОМ как опорная.

На выходе делителя частоты $U9$ образуется частота 100 кГц, которая поступает в декадный генератор опорных частот $D1$. В $D1$ 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 « $\times 100$ кГц», « $\times 10$ кГц» и т. д., с их помощью происходит установка частоты приема — цифры, набранные на переключателях в каждой декаде, соответствует цифровому значению частоты приема. Выбранные таким образом гармоники

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 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 она не станет равной заданному значению.

Получение заданной нестабильности частоты ($\pm 3 \cdot 10^{-7}$) только с помощью описанного метода затруднено. Поэтому в приемнике применен также метод компенсации 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 $G2$ — Δf_{G2} и $G3$ — Δf_{G3} . Преобразование частоты на первом смесителе $U1$ происходит «вверх»:

$$f_{\text{пр}1} = f_c + (f_{G1}^{\text{НОМ}} \pm \Delta f_{G2} \pm \Delta f_{G3}) = f_{\text{пр}1}^{\text{НОМ}} \pm \Delta f_{G2} \pm \Delta f_{G3}. \quad (13)$$

Далее $f_{\text{пр}1}$ подается на второй смеситель $U2$, куда поступает частота второго гетеродина $G2$ — f_{G2} . Смеситель $U2$ переносит частоту «вниз»:

$$f_{\text{пр}2} = f_{\text{пр}1} - f_{G2} = (f_{\text{пр}1}^{\text{НОМ}} \pm f_{G2} \pm \Delta f_{G3}) - (f_{G2}^{\text{НОМ}} \pm \Delta f_{G2}) = f_{\text{пр}2}^{\text{НОМ}} \pm \Delta f_{G3}. \quad (14)$$

На выходе третьего смесителя $U3$ имеем:

$$f_{\text{пр}3} = f_{\text{пр}2} - f_{G3} = (f_{\text{пр}2}^{\text{НОМ}} \pm \Delta f_{G3}) - (f_{G3}^{\text{НОМ}} \pm \Delta f_{G3}) = f_{\text{пр}3}^{\text{НОМ}}. \quad (15)$$

Таким образом, в результате преобразования на 1, 2 и 3 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.

2.2.4. ПРИЕМНИК РАДИОСТАНЦИИ «ТЮЛЬПАН»

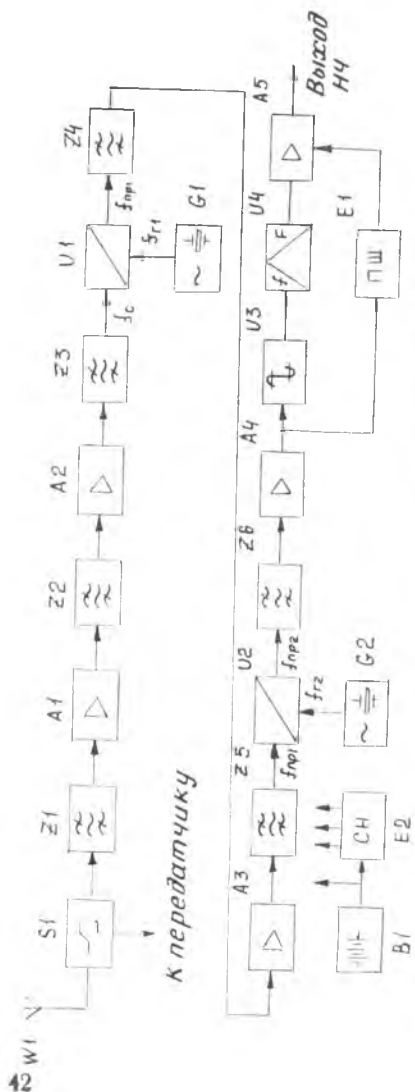


Рис. 8. Структурная схема приемника радиостанции «Тюльпан»

Портативная УКВ-радиостанция «Тюльпан» предназначена для ведения бесперехватной, бесперехватной 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 (F3).

Приемник построен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты (рис. 8). Первая промежуточная частота выбрана равной 24 МГц, вторая — 1596 кГц.

Напряжение, снимаемое с антенны *W1*, через контакты переключателя *S1* «прием — передача» поступает на одноконтурную входную цепь *Z1*. Усилитель радиочастоты (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 А1 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 (ФСС) $Z4$.

В качестве усилителя первой промежуточной частоты использован однокаскадный усилитель $A3$ с одноконтурной нагрузкой $Z4$ 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- $A4$, представляющий собой трехкаскадный апериодический усилитель.

Далее следует ограничитель $U3$ и частотный детектор $U4$, собранный по схеме дискриминатора со связанными контурами. С выхода детектора $U4$ сигнал поступает на четырехкаскадный усилитель низкой частоты $A5$. К выходу УНЧ подключается динамическая головка прямого излучения.

В схеме приемника имеется шумоподавитель $E1$, запирающий в отсутствие сигнала УНЧ.

Стабилизатор напряжения $E2$ питает все каскады приемника (кроме $G1$ и $G2$) и обеспечивает нормальную работу последнего при изменении напряжения аккумуляторной батареи $B1$ от 6,75 до 8,4 В.

3. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ БОРТОВЫХ ПРИЕМНИКОВ

3.1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА БОРТОВЫХ ПРИЕМНИКОВ

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, уступают место интегральным микросхемам на биполярных и МДП структурах.

В настоящее время основой элементной базы бортовых средств связи, выпускаемых серийно, являются полупроводниковые приборы и специализированные, а также универсальные ИМС. Наибольшее распространение при построении главных трактов приемников находят гибридные ИМС [21]. Это обусловлено, во-первых, требованием достаточно высоких рабочих частот и точности воспроизведения параметров, а также широкой номенклатурой применяемых узлов.

Гибридные ИМС для построения приемников выпускаются в виде серий, содержащих до 25 различных по функциональному назначению микросхем [22]. 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 средств связи ЛА выявляет общность построения отдельных функциональных узлов. Поэтому схемотехнику приемников целесообразно рассматривать в рамках этих узлов, разбирая построение их схемных вариантов. Выделим для рассмотрения следующие функциональ-

ные узлы приемников: преселекторы, преобразователи частоты, усилители промежуточной частоты, детекторные каскады, устройства регулировки и настройки, вспомогательные устройства.

3.2. ПРЕСЕЛЕКТОРЫ

Преселекторы приемников средств связи ЛА имеют в своем составе ВЦ и каскады УРЧ. ВЦ служат для 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, уменьшить коэффициент шума приемника, т. е. реализовать заданную чувствительность, а, во-вторых, сохранить режим слабого сигнала в смесителе. К схемам 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 диапазонных приемниках;

равномерность коэффициента передачи по диапазону.

Преселектор приемника УКВ-радиостанции «Ландыш» включает одноконтурную ВЦ (рис. 9) и двухкаскадный УРЧ с двух-

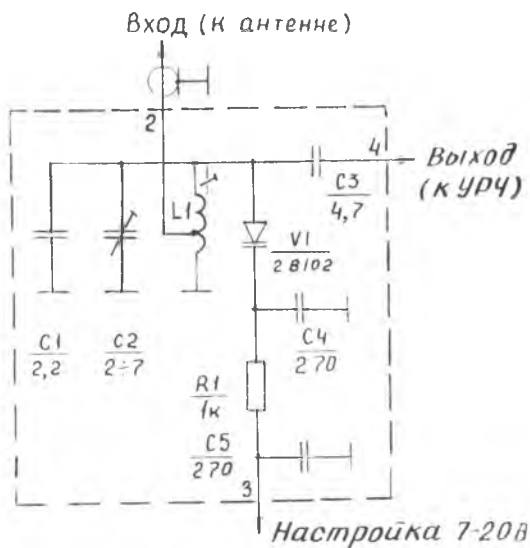


Рис. 9. Входная цепь приемника «Ландыш»

контурными полосовыми фильтрами в качестве нагрузок каскадов (рис. 10). Контур ВЦ образован индуктивностью L_1 , подстроечным конденсатором C_2 , контурным конденсатором C_1 и варикапом V_1 . Настройка контура на заданную частоту 118-136 МГц производится путем подачи на варикап V_1 напряжения определенной величины (в пределах 7—20 В).

Связь контура ВЦ с антенным фидером автотрансформаторная, что обеспечивает режим согласования на входе ВЦ; связь с транзистором УРЧ осуществляется через конденсатор C_3 . Для предотвращения паразитных связей по цепям питания напряжение на варикап V_1 подается через фильтр нижних частот C_5 , R_1 , C_4 .

УРЧ собран на биполярных транзисторах по схеме с ОЭ. Выполнение УРЧ на биполярных транзисторах повышает восприимчивость приемника к помехам, действующим по неосновным каналам приема, и затрудняет обеспечение его ЭМС. Однако в УКВ диапазоне внешние помехи слабы, а широкий выбор частот связи позволяет отстроиться от близко расположенных мешающих передатчиков. Кроме того, для ослабления нелинейных эффектов в преселекторе, связь ВЦ с УРЧ выбирается слабой (малая величина C_3 в схеме ВЦ), что впоследствии компенсируется усилением УПЧ.

Режим транзисторов V_1 , V_4 обеспечивается базовыми резисторами R_1 , R_2 и R_6 , R_7 , эмиттерными резисторами R_2 и R_8 и коллекторными резисторами R_4 и R_9 . С целью устранения отрицательной обратной связи по переменному току эмиттеры V_1 , V_4 блокируются конденсаторами C_3 и C_{14} . Напряжение на базы V_1 и V_4 подается от схемы АРУ через ФНЧ L_2 , C_2 и L_5 , C_{12} , предотвращающие возбуждение по цепям регулировки усиления. Полосовые фильтры УРЧ представляют собой систему двух контуров, например L_3 , C_5 , C_6 , V_2 и L_4 , C_{11} , V_3 , связанных через внутрииндуктивную связь L_9 . Внутрииндуктивная связь позволяет заэкранировать катушки фильтра друг от друга, что устраняет взаимные паразитные емкостные связи, которые в данном диапазоне частот трудно учесть. Подвод напряжения питания к V_1 и V_2 со стороны эмиттеров позволяет заземлить коллекторные цепи, т. е. катушки L_3 , L_4 и L_6 , L_8 , что также способствует уменьшению конструктивной емкости контуров. Настройка контуров фильтров УРЧ на заданную частоту производится, как и в ВЦ, путем подачи напряжения на варикапы V_2 , V_3 и V_5 , V_6 через фильтры нижних частот C_7 , R_5 , C_8 и C_{17} , R_{10} , C_{18} .

Связь фильтров УРЧ с питающим транзистором — автотрансформаторная, что позволяет ослабить влияние выходных параметров транзистора на параметры контуров. Связь со вторым каскадом и с первым смесителем осуществляется через раз-

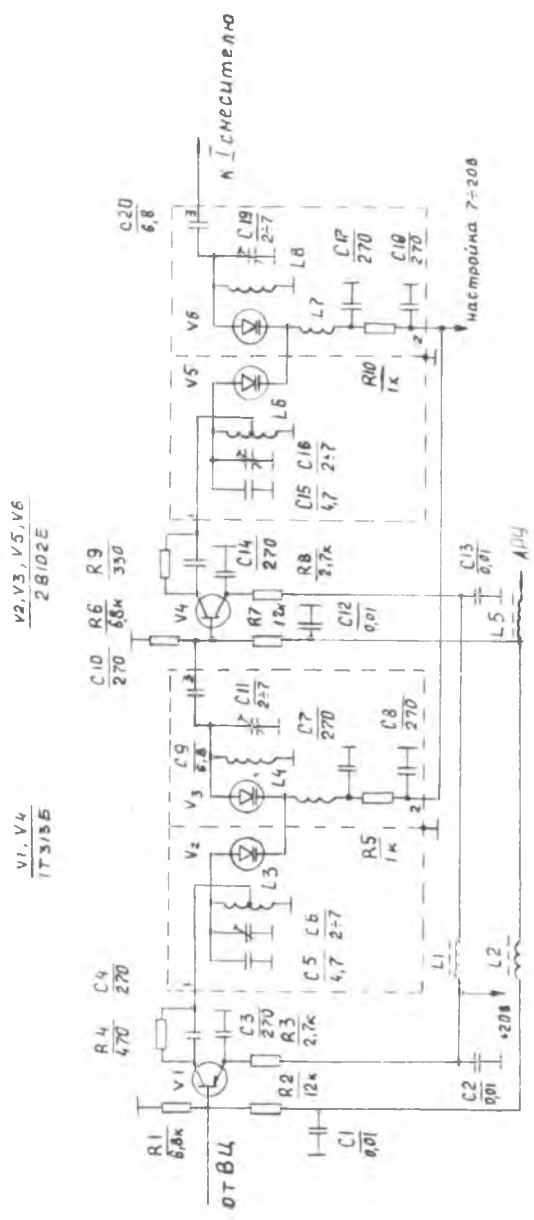


Рис. 10. Усилитель радиочастоты приемника «Гавдыш»

делительные конденсаторы $C9$ и $C20$ малой величины. Питание к УРЧ подводится через фильтрующие элементы $C2$, $L1$, $C13$.

Преселектор приемника УКВ-радиостанции «Баклан» содержит двухконтурную ВЦ и УРЧ на МОП-тетроде с двухконтурным полосовым фильтром. Контуры ВЦ образованы индуктивностями $L1$ и $L3$ (рис. 11), подстроечными конденсаторами $C1$ и $C3$, а также варикапами $V1$, $V2$ и $V3$, $V4$. Индуктивность $L2$ служит элементом внутренней индуктивной связи между контурами. Для улучшения линейности входных контуров используется встречно-последовательное включение варикапов. Управляющее напряжение на варикапы подается через резисторы $R1$, $R2$ от матрицы электронной перестройки; конденсатор $C2$ — блокировочный.

УРЧ выполнен на полевом тетроде $V5$ 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. Все эти факторы позволили построить в приемнике «Баклан» более простую схему преселектора, чем в аналогичном приемнике «Ландыш». Режим транзистора $V5$ 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 годачей 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. 12 показана схема *преселектора приемника УКВ-радиостанции «Тюльпан»*, работающей 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 $V1$ и $V2$, включенных по каскадной схеме ОЭ-ОБ, это необходимо для получения достаточно большого усиления первого каскада (малого коэф-

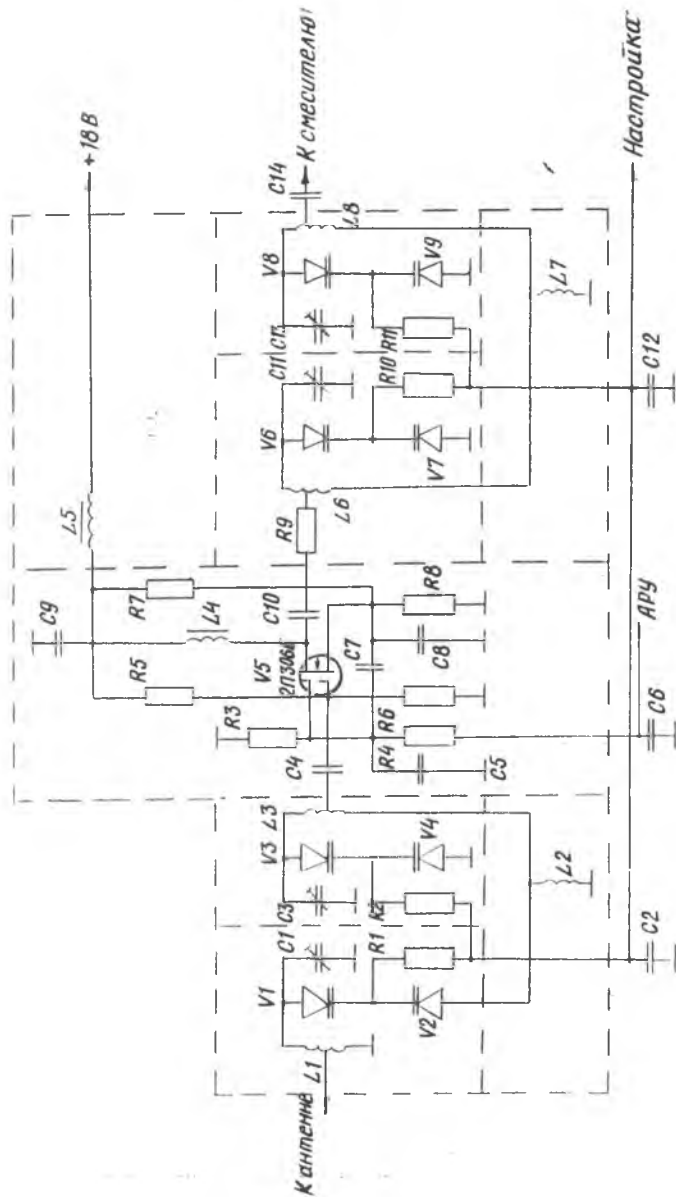


Рис. 11. Преселектор приемника «Баклан»

V1, V3
ГТ-313Б

V2, V4
ГТ-313Б

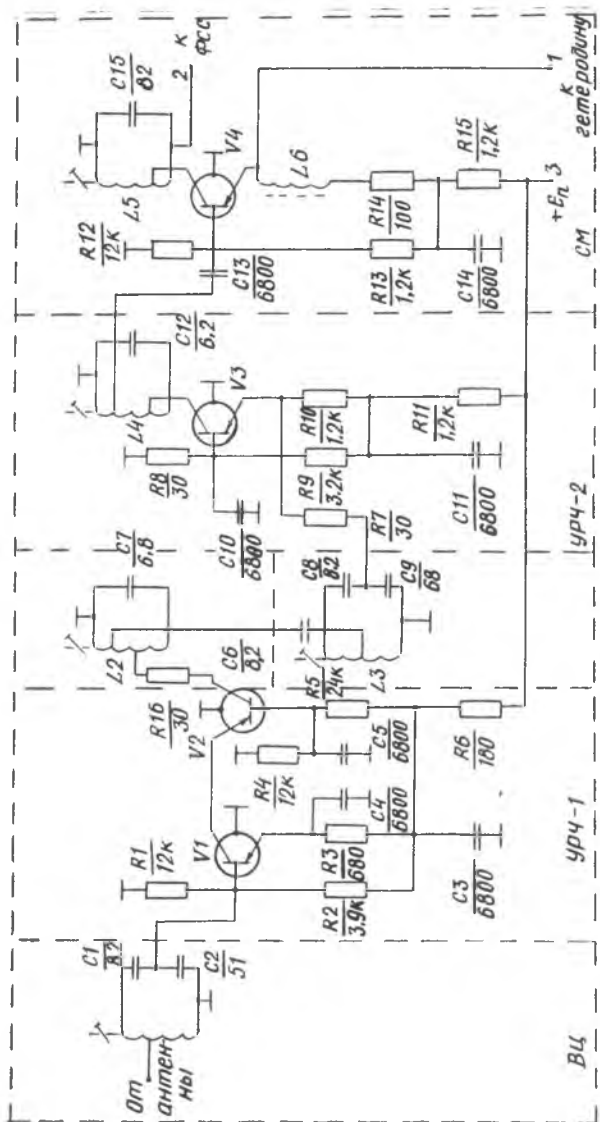


Рис. 12. Радиочастотная часть приемника «Тольяни»

фициента шума) и согласования активного элемента с избирательными системами. Резисторы $R1-R5$ обеспечивают режим транзисторов $V1, V2$ 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 $V2$ установлен антипаразитный резистор $R16$, повышающий устойчивость каскада. Второй каскад УРЧ собран на транзисторе $V3$ по схеме с ОБ. Нагрузка $V3$ — одиночный контур, образованный индуктивностью $L4$, конденсатором $C12$. Резисторы $R8-R11$ обеспечивают режим транзистора $V3$ по постоянному току, конденсаторы $C10, C11$ — блокировочные. Резистор $R7$ ослабляет 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. 13). В качестве усилительного элемента УРЧ применена микросхема $A1$ серии $K224$, представляющая собой каскодный усилитель, выполненный на транзисторах $1V1$ и $1V2$ по схеме ОЭ—ОБ. На рабочей частоте микросхема обладает крутизной порядка 25 мА/В . Нагрузкой УРЧ служит двухконтурный

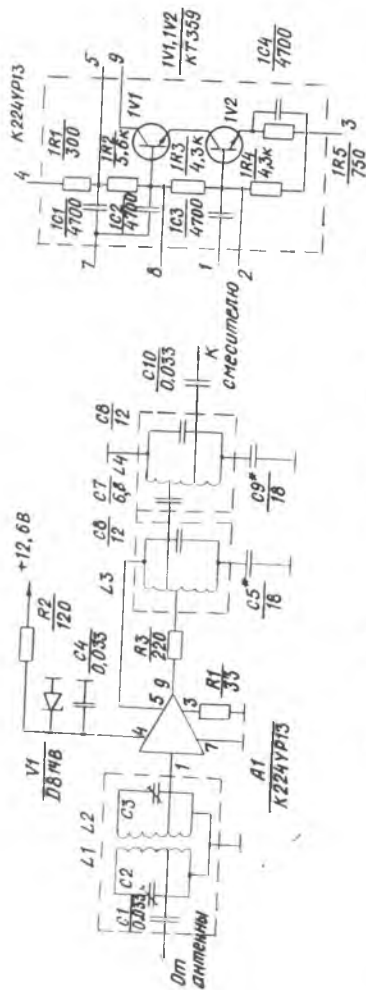


Рис. 13. Преселектор приемника «Гранит М»

полосовой фильтр с внешнеемкостной связью между контурами (конденсатор связи $C7$). Неполное включение контура позволяет получить усиление УРЧ порядка 15—20 дБ, а также повысить эквивалентную добротность контуров фильтра. Стабилизатор $V1$ служит для стабилизации напряжения питания $A1$. Резистор $R3$ повышает устойчивость УРЧ.

3.3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Преобразователи частоты служат для линейного переноса спектра принимаемого сигнала с несущей частоты сигнала на другую несущую, называемую *промежуточной*. В состав преобразователя частоты входят: смеситель, представляющий нелинейный элемент или элемент с переменным параметром, а также устройство формирования гетеродинирующих напряжений, в простейшем случае — маломощный автогенератор (гетеродин), в диапазонных приемниках — синтезатор частоты. Нагрузкой преобразователя частоты является избирательная система, настроенная на промежуточную частоту.

К схемам преобразователей частоты приемников средств связи ЛА предъявляют следующие основные требования:

линейность в отношении преобразуемого сигнала и помеховых сигналов, прошедших преселектор в требуемом динамическом диапазоне амплитуд;

получение заданного коэффициента передачи;

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

заданная стабильность частоты гетеродина;

минимальный уровень гармоник гетеродина.

Схема *первого смесителя приемника УКВ-радиостанции «Ландыш»* собрана на транзисторе $V1$ по схеме с ОЭ (рис. 14).

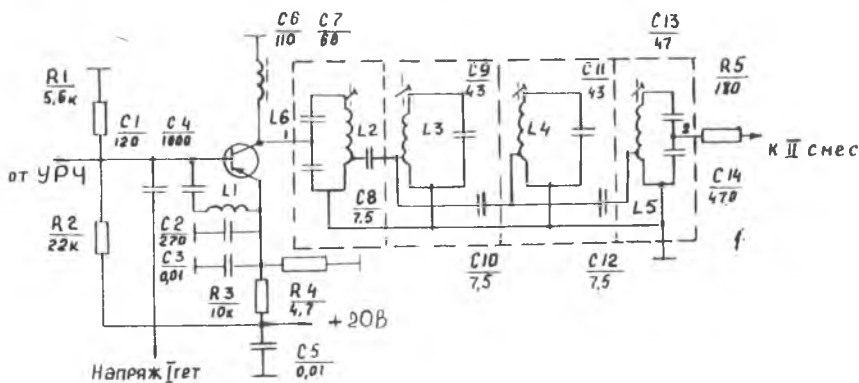


Рис. 14. Первый смеситель приемника «Ландыш»

Напряжение сигнала с частотой 118—136 МГц поступает на базу $V1$ с выхода УРЧ. Напряжение первого гетеродина подается через конденсатор $C1$ на базу $V1$ от синтезатора частоты. В результате преобразования частоты в коллекторной нагрузке $V1$ выделяется напряжение первой промежуточной частоты $f_{\text{пр}1} = f_c - f_{\text{г}1}$. Коллекторной нагрузкой смесителя является 3-звенный ФСС, настроенный на первую промежуточную частоту $f_{\text{пр}1} = 15,005 - 15,080$ МГц. Он представляет собой четырехконтурный фильтр с внешней емкостной связью (конденсаторы $C8, C10, C12$). Полоса пропускания ФСС составляет около 75 кГц и обеспечивается как слабой связью между контурами, так и слабой связью с транзисторами (емкостные делители $C6, C7$ и $C13, C14$).

Режим смесителя по постоянному току задается базовым делителем $R1, R2$ и эмиттерным — $R3, R4$. Эмиттерный делитель стабилизирует эмиттерный ток $V1$, что необходимо для обеспечения глубокой модуляции крутизны преобразования и уменьшения ее зависимости от параметров гетеродина. Для устранения обратной связи по переменному току эмиттер $V1$ заблокирован конденсаторами $C2, C3$. Для подавления помех с частотой $f_{\text{пр}1}$ (канал прямого прохождения $f_{\text{пр}1}$) между эмиттером и базой $V1$ установлен последовательный контур $C4, L1$ с резонансной частотой $f_{\text{пр}1}$. Контур обеспечивает короткое замыкание эмиттера и базы для частоты порядка 15 МГц, вместе с тем, эта цепочка повышает устойчивость каскада. Питание смесителя осуществляется через дроссель $L6$. Схемы аналогичных смесителей на биполярных транзисторах показаны на рис. 12, 15. Транзистор $V4$ (см. рис. 12) используется в качестве первого смесителя, преобразующего сигнал из диапазона 140—174 МГц в первую промежуточную частоту величиной 24 МГц. Напряжение сигнала от УРЧ ($V3$) поступает через разделительный конденсатор $C13$ на базу $V4$, а сигнал гетеродина на эмиттер. Подача напряжений сигнала и гетеродина на различные электроды облегчает развязку цепей гетеродина и сигнала, при этом уменьшается просачивание энергии гетеродина в цепь сигнала. Резистор $R14$ увеличивает входное сопротивление смесителя для колебаний гетеродина и снижает нелинейные искажения, что способствует уменьшению числа комбинационных каналов приема. Нагрузка смесителя — трехконтурный ФСС ($L5, C15$ на рис. 12; $L1, C1$ и $L2, C3$ на рис. 15).

Показанный на рис. 15 транзистор $V2$ 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

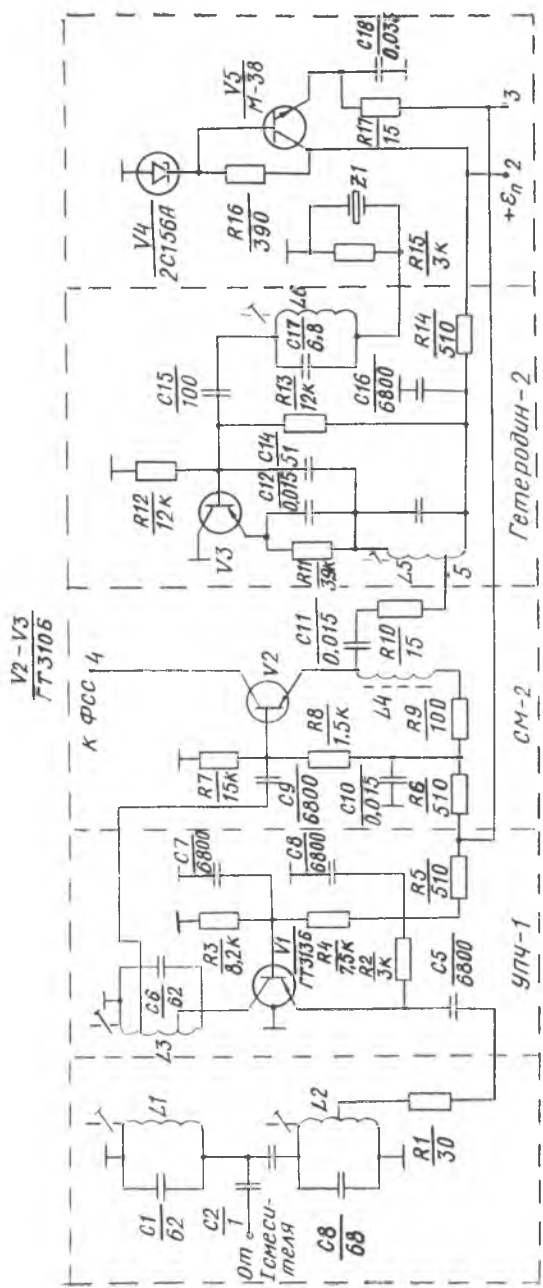


Рис. 15. Второй преобразователь частоты приемника «Гольпан»

селекция и усиление сигнала. Нагрузкой $V2$ служит 9-звенный ФСС, расположенный в блоке УПЧ.

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

Второй смеситель приемника «Ландыш» собран на транзисторе $V1$ и диоде $V2$ (рис. 16). Он преобразует первую промежуточную частоту 15,005—15,080 МГц во вторую, равную 1,6 МГц, на которой далее происходит селекция и усиление сигналов.

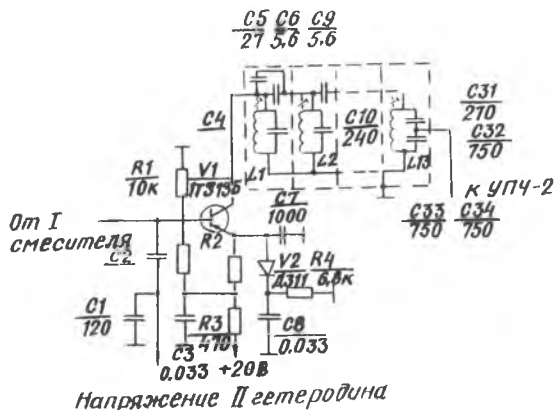


Рис. 16. Второй смеситель приемника «Ландыш»

Транзистор $V1$ служит эмиттерным повторителем для $f_{\text{пр}1}$ и $f_{\text{г}2}$ и одновременно усилителем $f_{\text{пр}2}$; диод $V2$ выполняет роль нелинейного элемента смесителя. Такая схема позволяет согласовать низкое входное сопротивление диодного смесителя с высоким выходным сопротивлением фильтра $f_{\text{пр}1}$ и выходной цепью второго гетеродина. В результате взаимодействия колебаний $f_{\text{пр}1}$ и $f_{\text{г}2}$ через диод $V2$ протекают токи суммарной и разностной частот, которые являются общими для эмиттерного перехода $V1$, включенного последовательно с диодом. В коллекторной цепи $V1$ включен 12-звенный ФСС $L1, C9—L13, C31, C32$, настроенный на вторую промежуточную частоту $f_{\text{пр}2} = f_{\text{пр}1} - f_{\text{г}2}$. Применение такого фильтра позволяет получить резонансную характеристику приемника, близкую к прямоугольной. Его полоса пропускания не уже 40 кГц при ослаблении сигнала на 6 дБ и не шире 100 кГц при ослаблении сигнала на 70 дБ.

Режим транзистора $V1$ и диода $V2$ определяется резисторами $R1—R5$. Конденсатор $C1$ — элемент фильтрации в цепи второго гетеродина; $C3, C8$ — блокировочные конденсаторы, конденса-

тор $C7$ ослабляет высшие комбинационные составляющие, возникающие на диоде $V2$.

Схема смесителя на полевом транзисторе показана на рис. 17.

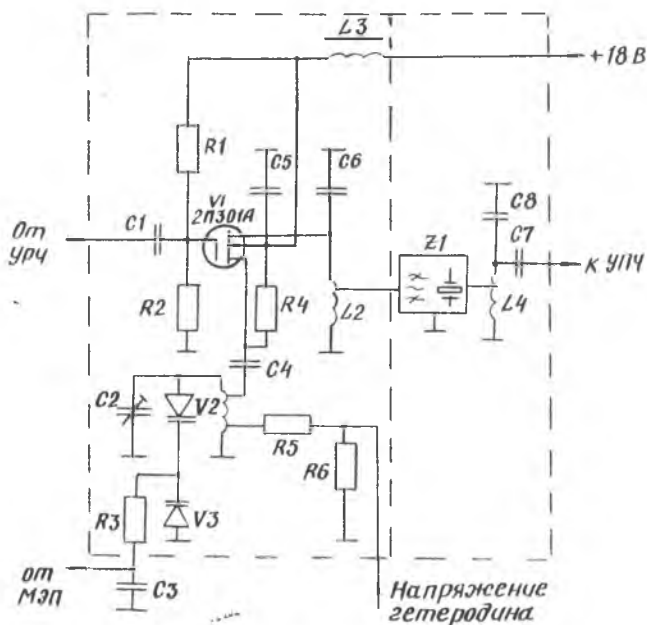


Рис. 17. Смеситель приемника «Баклан»

Он преобразует частоту сигнала 118—136 МГц в промежуточную 20 МГц. Нагрузкой смесителя является кварцевый фильтр $Z1$, настроенный на частоту $f_{np} = 20$ МГц с полосой пропускания 18 кГц. Смеситель собран на транзисторе $V1$ 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 $V1$. Напряжение гетеродина от синтезатора частоты поступает на исток $V1$ через делитель $R5, R6$ и одноконтурный фильтр гетеродина. Фильтр образован индуктивностью $L1$, конденсатором $C2$ и варикапами $V2, V3$; 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 $V2, V3$. Для улучшения линейности контура гетеродина применено встречно-

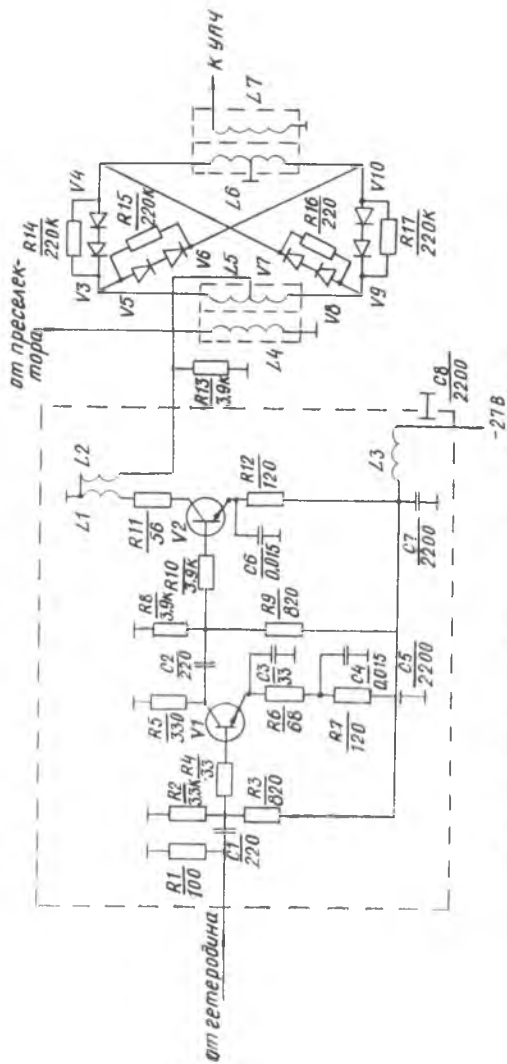


Рис. 18. Кольцевой балансный смеситель КВ-приемника

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.

Высококачественный *смеситель стационарного КВ-приемника связи* показан на рис. 18. Смеситель собран по кольцевой балансной схеме на диодах $V3$ — $V10$. Напряжение сигнала подается на диоды противофазно с помощью трансформатора $L4$, $L5$, а напряжение гетеродина синфазно с катушки $L2$. 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 $V1$, $V2$ собран усилитель гетеродирующего напряжения, повышающий амплитуду входных колебаний с 500 мВ до 2—3 В.

Схемы гетеродинов приемника, работающего на одной фиксированной частоте, показаны на рис. 15, 19. Первый гетеродин (см. рис. 19) построен по схеме удвоения частоты. Транзисторы задающего генератора $V2$ и удвоителя частоты $V1$ включены последовательно; частота гетеродина определяется кварцевым резонатором $Z1$.

Второй гетеродин (см. рис. 15) собран по схеме одностранничного автогенератора на транзисторе $V3$. Частота его колебаний определяется кварцевым резонатором $Z1$.

Построение схем синтезаторов частоты, формирующих сетку стабильных частот гетеродирующих напряжений, в настоящем пособии не рассматривается.

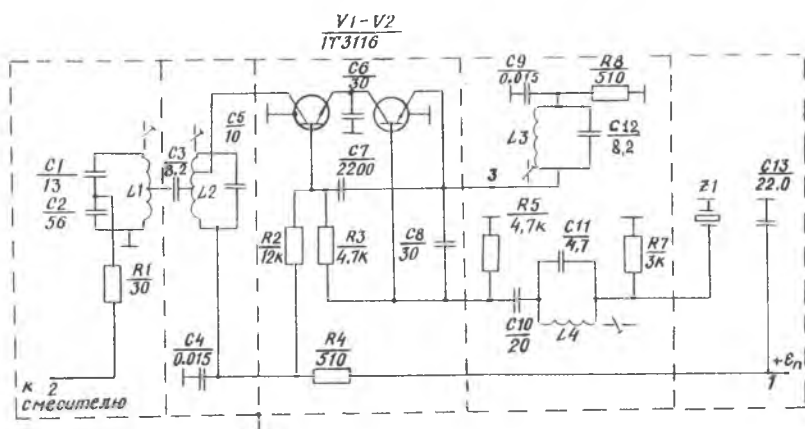


Рис. 19. Первый гетеродин приемника «Тюльпан»

3.4. УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Тракт промежуточных частот служит в приемнике для осуществления основной избирательности и основного усиления сигналов. УПЧ нагружен на детектор, для работы которого требуется уровень сигнала порядка сотен милливольт, поэтому УПЧ выполняется в виде многокаскадного усилителя с коэффициентом передачи порядка 60—80 дБ. Основная селекция сигнала в связанных приемниках осуществляется с помощью ФСС, устанавливаемых на выходе смесителя, т. е. на входе УПЧ. Поэтому каскады УПЧ выполняются апериодическими или слабоизбирательными.

При двух- и трехкратном преобразовании частоты приемники дополнительно содержат каскады «первых» промежуточных частот. Если основная селекция сигнала происходит на «последней» промежуточной частоте, то предшествующие УПЧ выполняют, в основном, 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 содержать их в целях улучшения согласования избирательных систем. В некоторых случаях при использовании трехкратного преобразования частоты основная селекция сигнала происходит 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. 20. УПЧ содержит три апериодических усилительных каскада на транзисторах $V1—V3$, включенных по схеме с ОЭ. Режимы каскадов по постоянному току задаются базовыми делителями и эмиттерными резисторами. Дроссели $L1, L4$ шунтируют нагрузки каскадов по постоянному току. Для обеспечения устойчивой работы второй—третьей каскады УПЧ охвачены отрицательной обратной связью по переменному току через конденсаторы $C7, C9$ небольшой величины. Питание на УПЧ подается через фильтрующие цепочки $C1, L2; C5, L3, C8$. Первый каскад УПЧ охвачен АРУ. Регулирующее напряжение АРУ подается на базу транзистора $V1$, изменяя его режим по постоянному току и уменьшая, тем самым, его усиление.

Аналогичное построение имеет УПЧ, работающий на частоте $f_{\text{пр}} = 1,596$ МГц (рис. 21). Он содержит три усилительных каскада на транзисторах $V1—V3$, включенных по схеме с ОЭ. Данная схема используется в приемнике радиостанции ЧМ сигналов, поэтому последний каскад УПЧ, собранный на транзисторе $V4$, является услителем-ограничителем. По этой же причине в схеме УПЧ отсутствуют цепи АРУ. Нагрузкой транзистора $V4$

V1, V2
1Т313Б

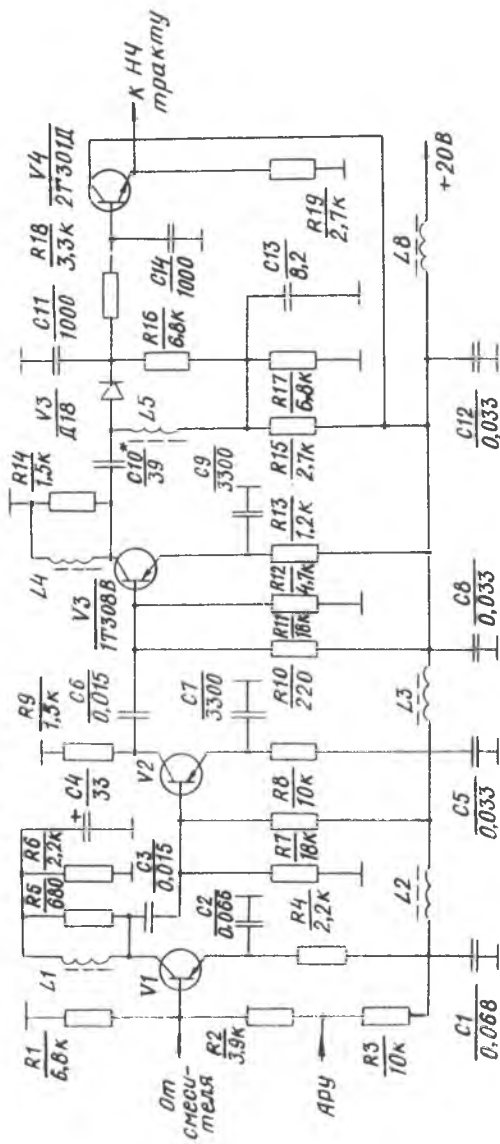


Рис. 20. УПЧ приемника «Ландыш»

являются контуры частотного детектора $L1, C12$ и $L2, C17$. С выхода транзистора $V3$ сигнал поступает на линейный каскад УПЧ на транзисторе $V7$, нагрузкой которого служит амплитудный детектор на диоде $V8$. Каскады $V7$ и $V8$ необходимы для определения уровня напряжения промежуточной частоты, используемого для работы схемы подавителя шума.

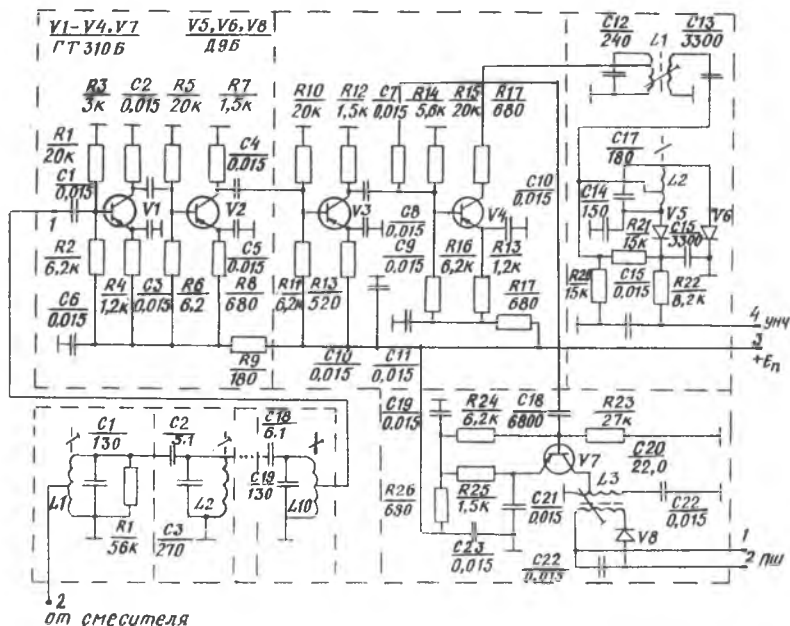


Рис. 21. УПЧ приемника «Тюльпан»

УПЧ для усиления сигналов на высокой промежуточной частоте $f_{пр} = 20$ МГц показан на рис. 22. Он содержит 4 каскада с резонансной широкополосной нагрузкой. Первый каскад УПЧ выполнен по каскадной схеме ОИ—ОБ на полевом тетроте $V2$ и биполярном транзисторе $V1$. 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 $V1$, оказывается достаточно большим. Режим каскада по постоянному току задается резисторами $R2—R5, R8, R10$; на второй затвор $V2$ подается через резистор $R6$ управляющее напряжение АРУ. Делитель $R8, R10$ создает на истоке опорное напряжение, необходимое для увеличения глубины АРУ. На-

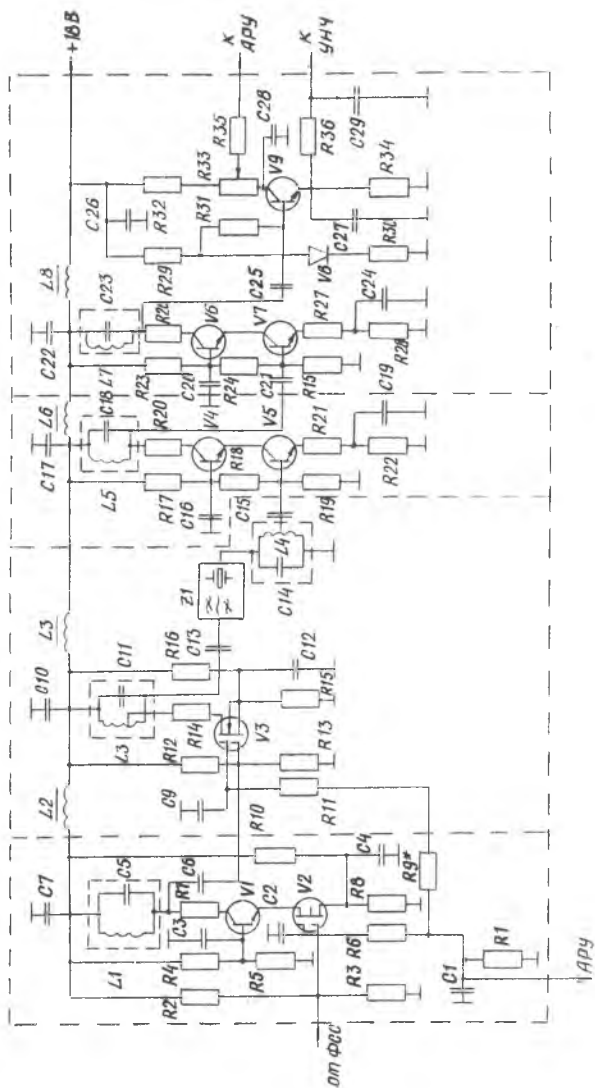


Рис. 22. УПЧ приемника «Баклан».

грузкой первого каскада УПЧ является широкополосный контур $L1, C5$. Для увеличения устойчивости каскадной схемы включен последовательный резистор $R7$. Конденсаторы $C2—C4, C7$ — блокировочные.

Второй каскад УПЧ собран на полевом тетроде $V3$, включенном по схеме с ОИ. Режим транзистора по постоянному току задается затворными и истоковым делителями. Нагрузкой $V3$ является широкополосный кварцевый фильтр $Z1$, обеспечивающий дополнительную (по отношению к ФСС) селекцию сигнала. Согласование $Z1$ с транзисторами осуществляется с помощью контуров $L3, C11$ и $L4, C14$. Транзистор $V3$ охвачен цепью АРУ путем подачи через резисторы $R9, R11$ регулирующего напряжения на второй затвор.

Третий и четвертый каскады УПЧ собраны по каскадным схемам ОЭ—ОБ на биполярных транзисторах $V4, V5$ и $V6, V7$. Нагрузкой каскадов служат одиночные контуры $L5, C18$ и $L7, C23$. Для улучшения качественных показателей каскады охвачены отрицательной обратной связью с помощью резисторов $R21, R27$. Резисторы $R20, R26$ увеличивают устойчивость каскадов. Режим по постоянному току задается базовыми делителями и эмиттерными резисторами. Конденсаторы $C16, C17, C19, C20, C22, C24$ — блокировочные. Питание к отдельным каскадам УПЧ подводится через фильтрующие цепочки LC-типа.

3.5. ДЕТЕКТОРНЫЕ КАСКАДЫ

Детектирование амплитудно-модулированных сигналов осуществляется в приемниках средств связи ЛА диодными и транзисторными детекторами, работающими в режиме линейного детектирования. К схемам детекторов предъявляют следующие основные требования:

малые нелинейные искажения;

большое входное сопротивление;

максимальный коэффициент передачи;

хорошая фильтрация напряжения промежуточной частоты.

Диодный детектор АМ сигналов, собранный по последовательной схеме на диоде $V4$, показан на рис. 20. Напряжение промежуточной частоты поступает на детектор через разделительный конденсатор $C10$. Нагрузкой детектора является резистор $R16$. Для создания замкнутой цепи для продетектированного сигнала, а также для ослабления шунтирования выхода УПЧ делителем на резисторах $R15, R17$ в цепь диода включен дроссель $L5$. Огибающая сигнала выделяется на нагрузке $R16$ и через фильтр нижних частот $C11, R18, C14$ поступает на вход эмиттерного повторителя, выполненного на транзисторе $V5$.

Эмиттерный повторитель согласует высокоомную нагрузку детектора с низкоомным входом УНЧ. Режим $V5$ по постоянному току задается резисторами $R15$, $R17$, $R19$. С выхода эмиттерного повторителя сигнал звуковой частоты поступает на вход УНЧ.

Транзисторный детектор АМ сигналов применен в схеме приемника, показанной на рис. 22. Детектор сигнала и АРУ собран на транзисторе $V9$. Продетектированное напряжение звуковой частоты снимается с эмиттера $V9$. Элементы $C27$, $R36$, $C29$ образуют фильтр детектора. Напряжение для цепи АРУ снимается с коллекторного резистора $R33$; конденсатор $C28$ — блокировочный. Режим транзистора $V9$ по постоянному току обеспечивается базовым делителем $R29$, $R30$, $V8$ и эмиттерным резистором $R34$. Для обеспечения нормальной работы в заданном интервале рабочих температур в цепи базового делителя включен термокомпенсирующий диод $V8$. 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 $L2$, $C17$ (рис. 21) являются нагрузкой ограничителя на транзисторе $V4$. Связь между контурами — индуктивная. Цепочка $R22$, $C15$ образует фильтр нижних частот. Детектор подключен к транзистору $V4$, работающему в режиме ограничения.

3.6. КАСКАДЫ АРУ

Схемы АРУ необходимы для поддержания малых изменений сигнала на выходе приемника при больших изменениях амплитуды сигнала на его входе. В приемниках АМ сигналов АРУ является обязательной и предотвращает искажения сигналов в тракте основного усиления. 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 простейших радиостанций (например, носимые радиостанции серии «Тюльпан») позволяют обойтись без применения схем АРУ.

Схема *усиленно-задержанной АРУ*, выполненная на биполярных транзисторах, показана на рис. 23. АРУ охватывает оба каскада УРЧ приемника — транзисторы $V1$ и $V2$, а также первый каскад усилителя второй промежуточной частоты — $V3$. Схема АРУ содержит детектор, собранный на диоде $V7$ и двухкаскадный усилитель на транзисторах $V5$, $V6$.

Сигнал с выхода УПЧ приемника через конденсатор $C7$ поступает на вход детектора $V7$, нагрузкой которого является це-

почка R_{20} , C_6 , включенная на входе транзистора V_6 . При отсутствии сигнала на входе приемника (или при малой его величине) транзистор V_6 закрыт падением напряжения на резисторе R_{17} , которое возникает за счет протекания базового тока открытого транзистора V_5 . К промежутку база—эмиттер транзистора V_6 последовательно с падением напряжения на резисторе R_{17} прикладывается напряжение с выхода детектора, возникающее на резисторе R_{20} . Таким образом, если принимаемый сигнал настолько мал, что напряжение на выходе детектора не превышает падения напряжения на резисторе R_{17} , то напряжение на R_{17} будет поддерживать транзистор V_6 в закрытом состоянии, определяя величину задержки схемы АРУ. АРУ при этом не работает; коллекторный ток V_5 максимален, и регулирующее напряжение на резисторе R_{13} достигает максимального значения.

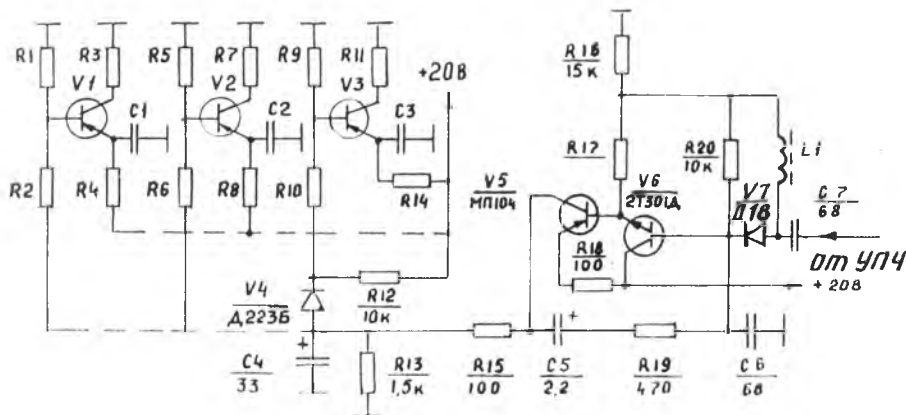


Рис. 23. Схема АРУ приемника «Ландыш»

С приходом на детектор АРУ V_7 сигнала величиной, превышающей напряжение задержки, потенциал на базе V_6 становится положительным, транзистор V_6 открывается, напряжение база—эмиттер транзистора V_5 падает, что вызывает уменьшение его коллекторного тока. С уменьшением коллекторного тока V_5 падает напряжение на резисторе R_{13} , а напряжение база—эмиттер регулируемых каскадов возрастает. Это вызывает увеличение коллекторного тока регулируемых транзисторов и уменьшение напряжения коллектор—эмиттер (рис. 24). Выходное сопротивление регулируемых транзисторов падает, что приводит к уменьшению коэффициента усиления каскадов. Рабочий участок характеристики (см. рис. 24) выбран таким образом, что при

регулировке коэффициент усиления по току регулируемых транзисторов почти не меняется, что позволяет сохранить постоянными характеристики каскада при глубокой регулировке [19].

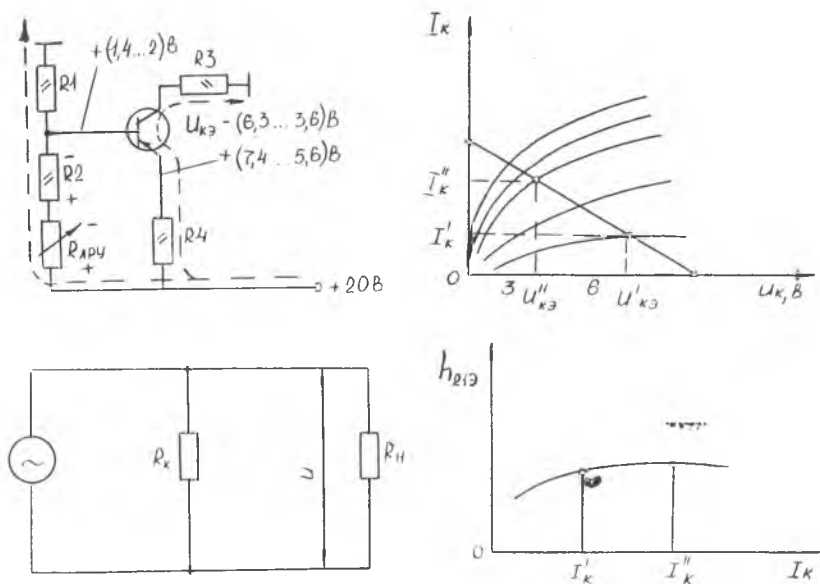


Рис. 24. Режим работы регулируемых каскадов схемы АРУ

Таким образом, при увеличении сигнала на входе приемника коэффициент усиления каскадов, охваченных АРУ, уменьшается и напряжение на выходе приемника изменяется мало. Цепочка R_{19}, C_5 создает в усилителе АРУ отрицательную обратную связь по переменному току. Конденсатор C_4 определяет инерционные свойства АРУ. При глубокой регулировке усиления сигнал, приходящий на транзистор V_3 , может быть соизмерим с напряжением коллектор—эмиттер этого транзистора. Для того, чтобы в этом случае не происходило перегрузки каскада, в цепь АРУ введены элементы, ограничивающие предел регулировки — диод V_4 , резистор R_{12} . На катод диода V_4 от делителя R_9, R_{10}, R_{12} подается напряжение порядка 14—15 В, являющееся пределом регулировки. Напряжение АРУ на резисторе R_{13} при малых сигналах на входе приемника составляет около 17—18 В. Диод V_4 открыт, и потенциал базы определяется напряжением АРУ. При больших сигналах на входе приемника напряжение АРУ (приложенное к аноду диода) уменьшается и становится соизмеримым, или даже меньшим напряжения на катоде. Диод V_4 закрывается, при дальнейшем уменьшении напряжения АРУ

потенциал базы V_3 не меняется и определяется пределом регулировки.

Схема АРУ с использованием операционного усилителя в качестве усилителя в цепи регулировки показана на рис. 25. Схема АРУ охватывает УРЧ и два первых каскада УПЧ приемника, выполненные на полевых транзисторах V_1, V_2, V_3 . Транзистор V_4 является детектором сигнала и АРУ. Напряжение, снимаемое с нагрузки детектора, через резистор R_{16} подается на вход операционного усилителя A_1 . Нагрузкой A_1 является резистор R_6 , напряжение с которого подается на затворы регулируемых транзисторов. Конденсаторы $C_1—C_7$ — блокировочные. Питание на операционный усилитель A_1 подается через фильтр L_1, C_{10} . A_1 охвачен цепью отрицательной обратной связи по переменному току с помощью конденсаторов C_8, C_9 . Фильтр АРУ включает в себя конденсатор C_{13} 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, необходимое для улучшения глубины АРУ.

Для предотвращения перегрузки каскада V_3 при больших уровнях входного сигнала применена цепь, определяющая предел регулировки каскада и состоящая из диода V_5 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.

3.7. УЗЛЫ ЭЛЕКТРОННОЙ НАСТРОЙКИ, ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Настройку диапазонных приемников бортовых радиостанций осуществляют дистанционно с ПДУ, расположенного в кабине пилотов. В качестве элементов настройки, входящих в состав колебательных систем преселекторов, используют варикапы и варикапные матрицы (см. 3.1). При электронной настройке приемника упрощается построение схемы одновременной перестройки нескольких резонансных систем [23]. Для перестройки преселектора приемника по диапазону необходимо сформировать плавно или ступенчато изменяющееся напряжение, которое подают на варикапы для изменения их емкости. Формирование такого напряжения осуществляется в *матрицах электронной перестройки* по управляющему сигналу с ПДУ, определяемому положением ручек установки частоты приема.

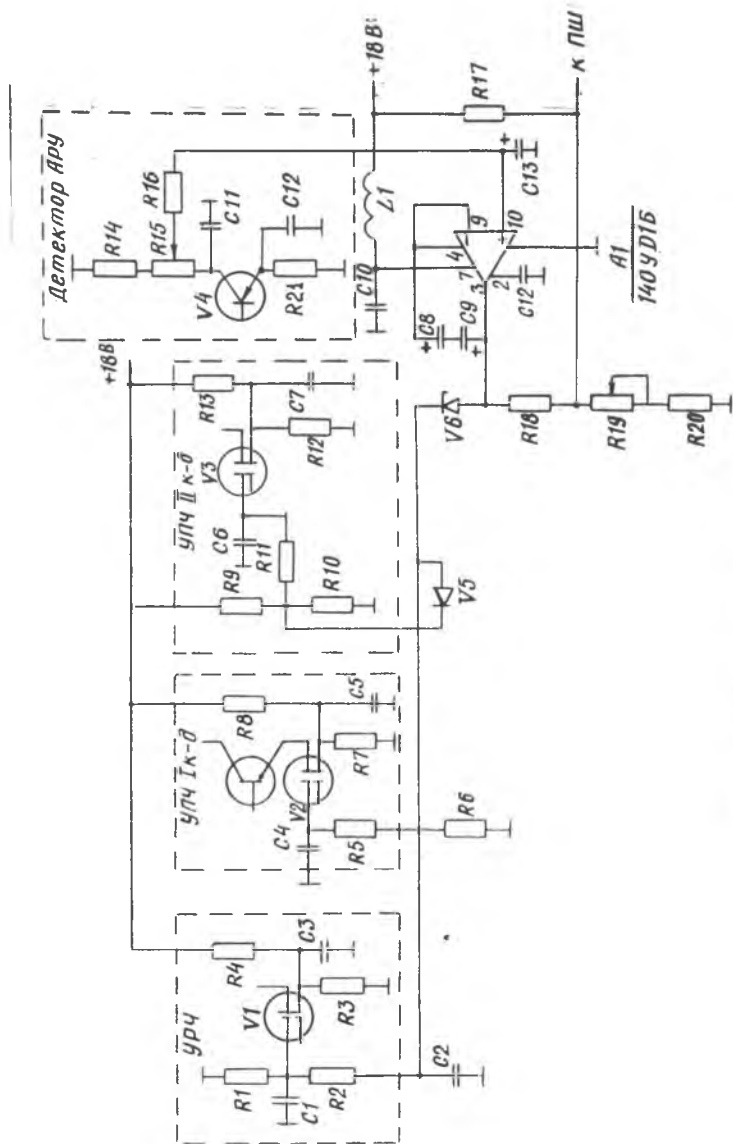


Рис. 25. Схема АРУ приемника «Баклан»

Схема МЭП (рис. 26) содержит матричный дешифратор кода постоянного тока, собранный на диодах $V1—V24$ и резисторах $R1—R14$, и УПТ на транзисторах $V27, V28$. 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 замыканием 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 $V1, V3, V4, \dots, V27$ и, во-вторых, через резистор $R14$ и «верхние» диоды $V2, V5, \dots, V28$. Поскольку резисторы $R9—R13$ выбраны гораздо меньшей величины, чем резистор $R14$, то «нижние» диоды открыты, а «верхние» закрыты. При этом напряжение с резисторов $R1—R8$ на вход УПТ не поступают.

При выборе частоты настройки контуры 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, определяемое подстроечным резистором из группы $R1—R8$. Таким образом, формируются 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 производится замыканием провода $6С$ на корпус.

В табл. 8 приведены значения частоты настройки контуров и соответствующие им напряжение смещения на варикапах $U_{см}$, напряжение на входе УПТ $U_{упт}$, код управления и резистор из группы $R1—R8$, подключаемый ко входу УПТ.

Перестройка гетеродинов приемников производится также электронным путем. В качестве примера рассмотрим способ перестройки генератора грубой сетки гетеродина приемника радиостанции «Ландыш» (см. 2.2).

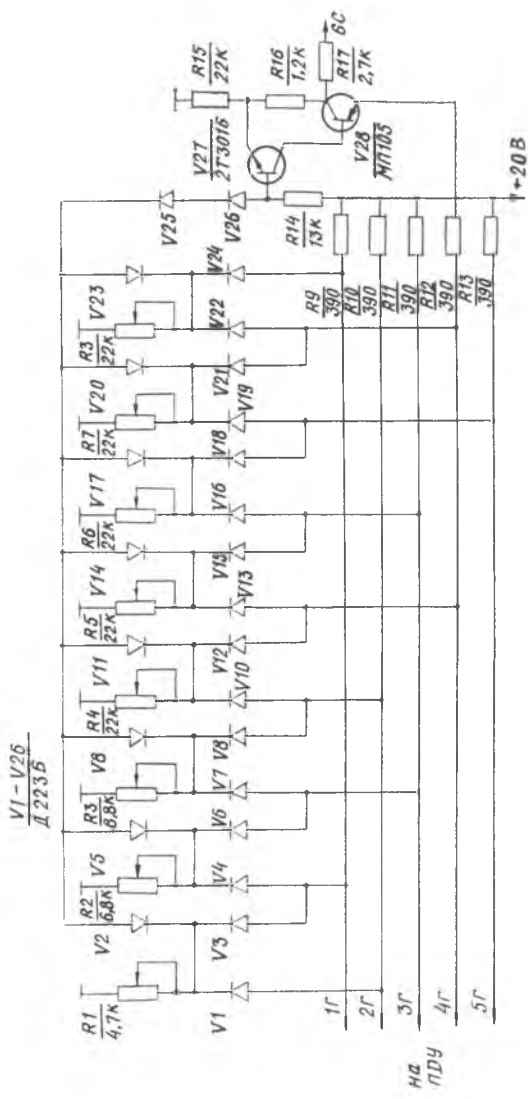


Рис. 26. МЭП приемника «Ландыш»

Таблица 8

Настройка преселектора с помощью МЭП

Частота, МГц	$U_{см},$ В	$U_{упр},$ В	Код управления						Рабочий резистор
			1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6С	
118,5	7,1	5,5	1*	1	0	0	0	1	R1
119,5	7,5	5,5	1	1	0	0	0	0	R1
120,5	8,0	6,1	1	0	1	0	0	1	R2
121,5	8,5	6,1	1	0	1	0	0	0	R2
122,5	9,0	6,9	0	1	1	0	0	1	R3
123,5	9,6	6,9	0	1	1	0	0	0	R3
124,5	10,2	7,8	0	1	0	1	0	1	R4
125,5	10,9	7,8	0	1	0	1	0	0	R4
126,5	11,5	8,7	0	0	1	1	0	1	R5
127,5	12,2	8,7	0	0	1	1	0	0	R5
128,5	13,0	9,7	0	0	1	0	1	1	R6
129,5	13,8	9,7	0	0	1	0	1	0	R6
130,5	14,7	11,0	0	0	0	1	1	1	R7
131,5	15,6	11,0	0	0	0	1	1	0	R7
132,5	16,7	12,2	1	0	0	1	0	1	R8
133,5	17,7	12,2	1	0	0	1	0	0	R8
134,5	18,8	18,0	1	0	0	0	1	1	—
135,5	20,0	18,0	1	0	0	0	1	0	—

Примечание. Звездочка означает замыкание провода на корпус.

Схема генератора грубой сетки включает автогенератор на транзисторе V10 и кварцевых резонаторах Z1—Z9 (рис. 27), схему выбора кварцевого резонатора на диодах V1—V9 и удвоитель частоты на транзисторе V11. Кварцевый генератор работает на девяти фиксированных частотах в диапазоне 46,395—54,395 МГц с шагом сетки через 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 ГГС осуществляется подключением одного из кварцевых резонаторов Z1—Z9 и соответствующих корректоров частот L11—L19 к схеме автогенератора. Коммутация происходит путем подключения пары проводов управления 1Г—5Г на корпус, которое

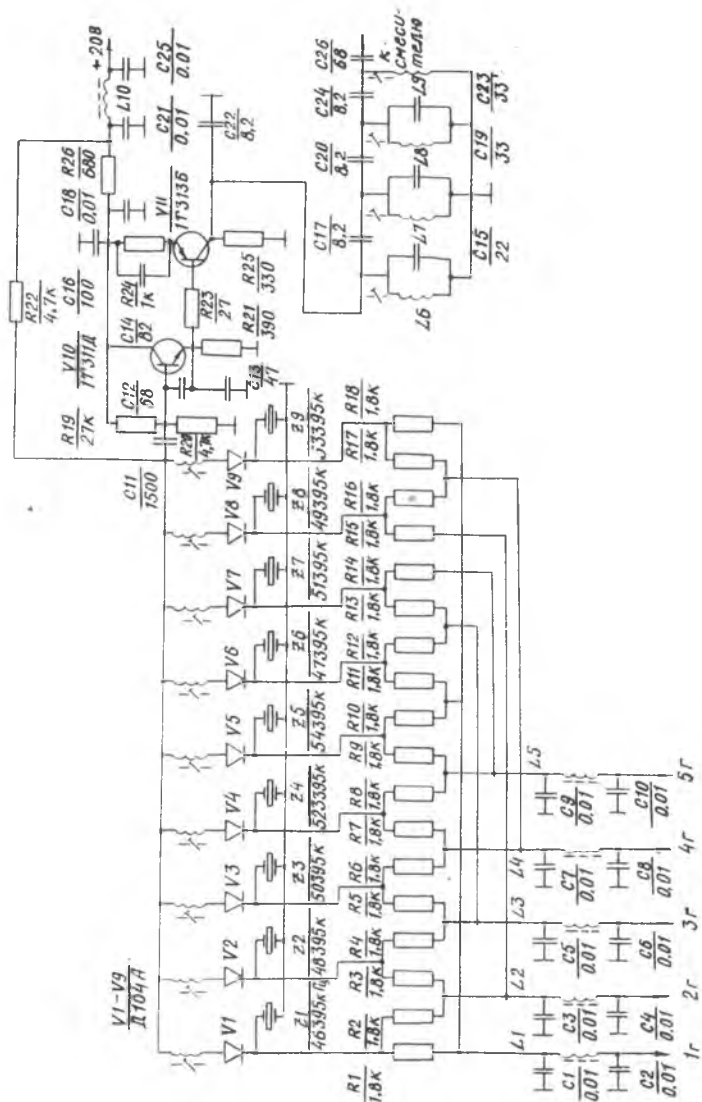


Рис. 27. Генератор грубой сетки приемника «Ландыш»

осуществляется в ПДУ. При этом один из диодов $V1—V9$ 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 $V1$ 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 $V11$ по схеме с общим эмиттером. Режим по постоянному току $V11$ определяется резисторами $R21, R23—R25$. Нагрузкой коллекторной цепи транзистора $V11$ является трехзвенный ФСС, зашунтированный для целей согласования резистором $R25$. Напряжение удвоенной частоты прикладывается через конденсатор $C26$ ко входу смесителя приемника.

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 (см. 2.2). *Схема ПШ* (рис. 28) включает: усилитель шума на операционном усилителе $A1$, детектор шума на диодах $V2, V3$, триггер Шмитта на дифференциальном усилителе $A2$, ключ, входящий в состав микросхемы $A3$.

Продетектированный сигнал с выхода детектора приемника (транзистор $V1$) поступает на двухзвенный фильтр верхних частот (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 $A1$. На второй вход $A1$ подается напряжение АРУ, управляющее работой ПШ. Усиленное напряжение шума детектируется детектором, собранным на схеме удвоения напряжения на диодах $V2, V3$. С выхода детектора постоянное напряжение поступает на вход триггера Шмитта $A2$. При наличии на входе приемника очень слабого сигнала или только шума напряжение на выходе детектора шума достигает максимальной величины. При этом триггер $A2$ срабатывает, и на его выходе (вывод 5) появляется постоянное напряжение, запирающее ключ микросхемы $A3$. 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 $A1$ уменьшается (включает-

ся АРУ), соответственно напряжение на входе детектора шума и на входе триггера А2 уменьшается. Триггер опрокидывается, при этом его выходное напряжение уменьшается. Ключ А3 отпирается, и низкочастотный сигнал с выхода детектора В1 поступает в УНЧ.

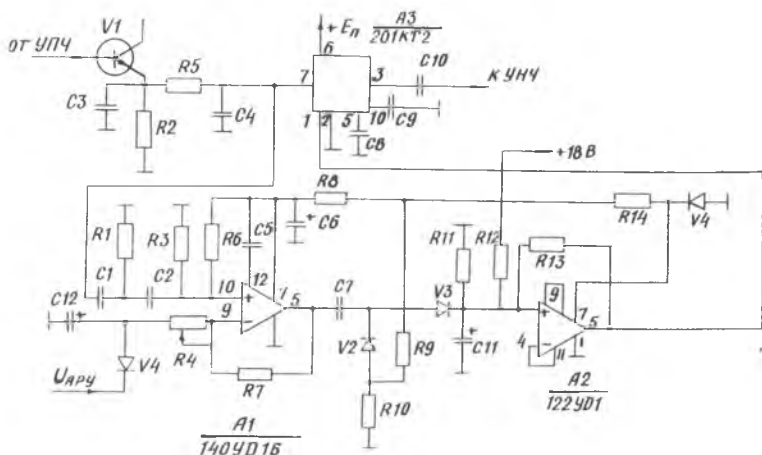


Рис. 28. Подавитель шума на ИМС

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 вход 9 усилителя шума А1 через диод V4 подается напряжение с выхода усилителя АРУ. При малых уровнях несущей сигнала напряжение АРУ велико, диод V4 оказывается в запертом состоянии — цепь отключения ПШ не работает.

С увеличением сигнала на входе приемника напряжение АРУ уменьшается (о работе АРУ см. 3.5), что приводит к отпирающему диода V4. Режим А1 при этом изменяется таким образом: выходное напряжение падает, что приводит к опрокидыванию триггера А2. В итоге схема А3 открывается и включается УНЧ. С помощью резистора R4 регулируется порог автоматического отключения ПШ.

Совершенствование приемников средств связи ЛА обусловлено, с одной стороны, развитием элементной базы радиоаппаратуры, с другой, ужесточением эксплуатационных требований и расширением круга задач, которые решаются с помощью бортового радиоборудования ЛА.

Успехи в области микроэлектроники уже сейчас позволяют использовать в бортовых устройствах микропроцессоры и запоминающие устройства большой емкости. Это делает возможным построение «интеллектуального» поколения средств радиосвязи, способных решать определенный круг задач, включая принятие решений о выборе оптимальных параметров канала связи. Попыткой реализации указанных требований является построение средств УКВ-связи, входящих в состав радиоэлектронного оборудования самолетного комплекса дальнего радиолокационного обнаружения «Nimrod» [24]. Средства УКВ-связи данного комплекса предназначена для целей УВД. Для снижения рабочих нагрузок операторов и обеспечения гибкости связи здесь применена многопроцессорная система ARM—ICS. 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.

Введение микропроцессоров в радиоприемные устройства дает возможность упростить управление приемником, повысить оперативность его работы. Применение цифровых синтезаторов частоты совместно с микропроцессорами позволяет осуществить тестатурный набор значения частоты приема, а также программирование работы приемника во времени. Примером может служить УКВ-радиостанция самолетной связи VHF-253 [25]. Стандартный УКВ-диапазон данной радиостанции содержит 720 каналов связи; устройство управления запоминает 4 выбранные частоты и позволяет легко переходить с одной частоты на дру-

гую. Приемник снабжен дисплеем на жидких кристаллах. Использование ИМС позволило создать компактную конструкцию приемника массой 1 кг и потреблением энергии 8 Вт.

Для обслуживания самолетов, выполняющих дальние и сверхдальние беспосадочные рейсы, создаются системы связи с использованием искусственных спутников Земли (ИСЗ). Один из первых проектов в этой области — проект США, Канады и ряда западно-европейских стран «AEROSAT» [26] — предусматривает запуск двух ИСЗ на геостационарные орбиты в целях обеспечения связи и УВД в районах Тихого и Атлантического океана. Каждый ИСЗ содержит ретрансляторы метрового (118—136 МГц) и дециметрового (1540—1660 МГц) диапазонов и обеспечивает четыре канала радиотелефонной связи с наземными пунктами УВД для самолетов, оборудованных простыми антеннами. Кроме того, предусматривается автоматическая передача выходной информации бортовых навигационных систем через ИСЗ диспетчеру УВД. По оценкам специалистов ИКАО широкое внедрение спутниковых систем в УВД предполагается к 1990 г., а к 2000 г. все пассажирские самолеты будут обеспечены спутниковой связью [27].

Применение в спутниковых системах связи цифровых способов передачи информации требует разработки цифровых радиоприемных устройств. Причем, сохранение в существующей аппаратуре аналоговой обработки сигнала в тракте до детектора обусловлено прежде всего недостаточным быстродействием современных однокристальных аналого-цифровых преобразователей. Появление преобразователей аналог—цифра и микропроцессоров с высоким быстродействием позволит вести цифровую обработку сигнала непосредственно на частоте приема. Использование цифровой фильтрации повысит помехоустойчивость приема, позволит создавать целиком цифровые твердотельные радиоприемные устройства, обладающие высокой надежностью и необходимыми эксплуатационными качествами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельник П. К. Организация связи в гражданской авиации. — М.: Транспорт, 1977. — 184 с.
2. Система авиационной радиосвязи/Анисимов В. А. и др. — М.: Транспорт, 1981. — 239 с.
3. ГОСТ 12252-77. Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Основные параметры. — М.: 1977. — 50 с.
4. Набатов О. С., Вдовиченко Н. С., Дивеев В. Н. Системы связи летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1976. — 240 с.
5. Горшелев В. Д., Красноцветова З. Г., Федорцев Б. Ф. Основы проектирования радиоприемников. — Ленинград: Энергия, 1977. — 384 с.

6. *Кучумова Н. П.* Радиооборудование самолета ТУ-154 и его летная эксплуатация. — М.: Машиностроение, 1978. — 96 с.
7. *Носов Ю. Р., Сидоров А. С.* Оплоты и их применение. — М.: Радио и связь, 1981. — 280 с.
8. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 2: Сокр. пер. с англ./Под ред. *А. И. Саггиря*. — М.: Советское радио, 1978. — 272 с.
9. *Волин М. Л.* Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Радио и связь, 1981. — 296 с.
10. *Голубев В. Н.* Оптимизация главного тракта приема радиоприемного устройства. — М.: Радио и связь, 1982. — 144 с.
11. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1: Сокр. пер. с англ./Под ред. *А. И. Саггиря*. — М.: Советское радио, 1977. — 352 с.
12. *Князев А. Д.* Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. — М.: Радио и связь, 1984. — 336 с.
13. *Седелников Ю. Е.* Основы теории электромагнитной совместимости — Казань: КАИ, 1979. — 50 с.
14. *Винокуров В. И., Пащенко Е. Г., Харченко И. П.* Электромагнитная совместимость судового радиооборудования. — Л.: Судостроение, 1977. — 232 с.
15. Основы проектирования микроэлементной аппаратуры/Под ред. *Б. Ф. Высоцкого*. — М.: Советское радио, 1978. — 352 с.
16. Радиостанции подвижной связи. Справочник. — М.: Связь, 1979. — 199 с.
17. *Шило В. Л.* Функциональные аналоговые интегральные микросхемы. — М.: Радио и связь, 1982. — 128 с.
18. *Швед А. П., Ефременков Ю. В., Тягун Ф. Ф.* Самолетное оборудование связи. — М.: Транспорт, 1981. — 261 с.
19. *Качан В. К., Сокол В. В.* Средства связи пассажирских самолетов. — Киев: Вища школа, 1980. — 280 с.
20. Радиостанции комплекса «Графит-М»/ *В. М. Кузьмин* и др. — М.: Радио и связь, 1982. — 116 с.
21. *Бланк М. У.* Аналоговые интегральные схемы в радиоаппаратуре. — М.: Связь, 1981. — 89 с.
22. Справочник по интегральным микросхемам./Под ред. *Б. В. Тарабрина*. 2-е изд. — М.: Энергия, 1981. — 816 с.
23. *Калихман С. Г., Шехтман Б. И.* Цифровая схемотехника в радиовещательных приемниках. — М.: Радио и связь, 1982. — 104 с.
24. Радиоэлектронное оборудование самолетного комплекса ДРЛО «Nimrod». — Радиоэлектроника за рубежом, 1983. № 16, с. 12—18.
25. Improved reliability, readability seen with transceiver. «Aviat. Week and Space Technol», 1981. 115, № 18, p. 57—59.
26. Развитие спутниковых систем аэронавигации, связи и управления воздушным движением: Обзор по материалам иностранной печати/Сост. *Г. Д. Акимов*. — М.: ЦНТИГА, 1978. — 40 с.
27. *Freer D.* Over the horizon: a view to the year 2000 and beyond — ICAO Bull., 1982, 37, № 12, p. 12—14.

Оглавление

Предисловие	3
Условные сокращения	5
1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРИЕМНИКАМ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ ЛА	6
1.1. Основные электрические параметры	6
1.2. Электромагнитная совместимость приемников в системе бортового электрорадиооборудования	11
1.3. Особенности эксплуатации бортовых радиосредств	21
2. СТРУКТУРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ БОРТОВЫХ ПРИЕМНИКОВ СРЕДСТВ СВЯЗИ ЛА	24
2.1. Основные принципы построения структурных схем приемников	24
2.2. Структурные схемы приемников УКВ- и КВ-радиостанций авиационной радиосвязи	26
3 СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ БОРТОВЫХ ПРИЕМНИКОВ	44
3.1. Элементная база бортовых приемников	44
3.2. Преселекторы	45
3.3. Преобразователи частоты	52
3.4. Усилители промежуточной частоты	59
3.5. Детекторные каскады	63
3.6. Каскады АРУ	64
3.7. Узлы электронной настройки, вспомогательные устройства	67
Заключение	75
Литература	76

Св. план 1985, поз. 1130

Лев Иванович Калакутский

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ
СХЕМОТЕХНИКА РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Курянова

Сдано в набор 22.02.85 г. Подписано в печать 17.05.85 г.
ЕО 00363. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая.
Печать высокая. Литературная гарнитура.
Усл. п. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,6. Т. 500 экз.
Заказ 197. Цена 15 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.