

Министерство образования и науки Российской Федерации
Муромский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(МИ ВлГУ)**

Отделение среднего профессионального образования

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ
И ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА**

для студентов специальности

11.02.01 Радиоаппаратостроение

Программа подготовки специалистов среднего звена

Составитель:
Коровин А.Н.

Муром, 2017

Введение

Радиоприемные устройства (РПрУ) широко используются во многих областях человеческой деятельности как отдельные аппараты и в составе различных радиосистем. Активно развиваются космическая, радиорелейная связь, системы подвижной радиосвязи. Привычными становятся приемники спутникового телевидения, пейджеры, сотовые телефоны, высококачественные радиовещательные приемники.

Учебное проектирование радиоприемного устройства является важной частью подготовки радиоинженера, оно способствует развитию навыков инженерного мышления, учит принимать обоснованные решения, развивает самостоятельность.

Существующая учебная литература выпущена в 70-90-х годах, отдельные рекомендации требуют обновления, изменилось содержание ряда стандартов, используемых при проектировании РПрУ. Назрела необходимость в пособии, содержащем методы проектирования, справочные сведения, правила оформления технической документации, рекомендации по организации работы над проектом.

При написании учебного пособия автор постарался максимально учесть свой опыт руководства курсовым проектированием. Отдельные технические и методические вопросы обсуждались с коллегами по кафедре радиотехники Муромского института, что нашло отражение в тексте пособия.

Настоящее пособие охватывает довольно широкий круг вопросов. В нем приведены методы проектирования радиоприемных устройств, отдельных узлов и блоков, даны рекомендации по конструированию РПрУ. Изложены требования к содержанию курсового проекта, уделено внимание правильному оформлению пояснительной записки и чертежей. Составлены перечень вопросов для самоподготовки к защите проекта и список рекомендуемой литературы. Приведенные в приложении справочные данные окажут существенную помощь при выполнении проекта.

Пособие предназначено для студентов старших курсов радиотехнических специальностей.

1. Проектирование радиоприемных устройств

При проектировании любого радиотехнического устройства сначала необходимо провести анализ технического задания, предложить варианты реализации заданных параметров, выбрать и провести сравнительный анализ устройства-прототипа. Затем следует выбрать и обосновать структурную схему РПрУ, провести его эскизный расчет, определить требования к основным блокам, выбрать и обосновать принципиальную схему всего приемника, провести расчет каскадов РПрУ, выбрать электрорадиоэлементы. В процессе проектирования РПрУ следует руководствоваться сведениями и рекомендациями, изложенными в литературе [1-3].

1.1. Выбор и расчет структурной схемы

При проектировании радиоприемника на структурном уровне необходимо выбрать способ перекрытия заданного диапазона частот, количество преобразований частоты, значения промежуточных частот, средства обеспечения избирательности по побочным и соседнему каналам приема, средства обеспечения заданной чувствительности, решить вопрос о необходимости применения автоматических и ручных регулировок. Расчет следует вести по методикам, приведенным в учебной и специальной литературе [4-10].

Способ **перекрытия заданного диапазона частот** определяется коэффициентом диапазона и требованием плавной или дискретной настройки. Если в ТЗ заданы границы диапазона частот, то, как правило, выбирается плавная настройка, если же задано количество каналов, применяется дискретная настройка. При *плавной настройке* применение конденсатора переменной емкости обеспечивает коэффициент диапазона 2...2,5, катушки переменной индуктивности - 1,3... 1,5, варикапа - 1,3... 1,4. Конденсаторы переменной емкости применяются в основном в стационарных радиоприемниках. В возимой и носимой аппаратуре используются варикапы. Катушки переменной индуктивности нашли применение в автомобильных радиовещательных приемниках ДВ, СВ, КВ диапазонов.

Если элемент настройки не обеспечивает перекрытия всего требуемого диапазона частот приемника, этот диапазон разбивается на *поддиапазоны*. При разбиении *с одинаковым частотным интервалом* достигается одинаковая плотность настройки по всему диапазону. Разбиение *с постоянным коэффициентом поддиапазона* обеспечивает меньшее число поддиапазонов, но плотность настройки увеличивается при переходе на более высокочастотные поддиапазоны. Если на более высоких частотах работает много станций, увеличение плотности настройки является недостатком.

Комбинированный метод разбиения применяют, когда при разбиении с

постоянным коэффициентом поддиапазона для первых поддиапазонов получаются слишком маленькие частотные интервалы, что ведет к росту числа поддиапазонов приемника, а при разбиении с постоянным частотным интервалом выбранный элемент настройки не обеспечивает требуемый коэффициент диапазона, что тоже приводит к увеличению числа поддиапазонов. Комбинированный метод может применяться в случае, когда радиоприемник должен работать в нескольких диапазонах частот, например, ВЧ, ОВЧ, УВЧ.

Элемент плавной настройки включают обычно в контуры входной цепи (ВЦ), усилителя радиочастоты (УРЧ) и гетеродина (Г). При выборе блока конденсаторов переменной емкости в качестве элемента плавной настройки необходимо учитывать, что в этом случае ВЦ и УРЧ придется сделать одноконтурными, т.к. при увеличении числа перестраиваемых контуров в преселекторе усложняется процесс настройки приемника. Кроме того, блоки конденсаторов с числом секций более трех сложны в изготовлении, дороги и применяются только в специальной аппаратуре, когда объем приемника и его стоимость не имеют первостепенного значения.

Дискретная настройка осуществляется с некоторым шагом по частоте. Она используется в основном в приемниках с синтезатором частот в качестве гетеродина. Шаг дискретной настройки может быть равен шагу сетки частот гетеродина, что характерно для широкодиапазонных приемников. В таких приемниках шаг может равняться 100 Гц, 1 кГц, 5 кГц. Возможно применение переменного шага настройки. Применение синтезатора частот повышает стабильность частоты гетеродинов, упрощает устройство настройки.

В узкодиапазонных приемниках с числом фиксированных каналов до нескольких десятков шаг настройки, как правило, равен расстройке между каналами. В этом случае коэффициент диапазона $k_d \approx 1$, в преселекторе применяются неперестраиваемые полосовые фильтры, а настройка осуществляется переключением каналов в синтезаторе. При $k_d \geq 1$ используют переключение полосовых фильтров в преселекторе, при этом их полосы на краях поддиапазонов должны перекрываться.

При разбиении диапазона радиоприемника на поддиапазоны необходимо выбрать способ разбиения и рассчитать значения частот на границах поддиапазонов, количество поддиапазонов, частотные интервалы и коэффициенты поддиапазонов [5].

Для обеспечения заданной **чувствительности** необходимо выбрать фидер с наименьшим затуханием, малошумящие активные элементы (АЭ) в УРЧ и смесителе, режимы АЭ, количество контуров в преселекторе. Иногда для обеспечения требуемого коэффициента шума не применяют УРЧ, а первым каскадом приемника является преобразователь частоты. Для снижения потерь в фидере первый смеситель приемника СВЧ размещают в непосредственной близости от антенны, и по кабелю снижения передается сигнал на промежуточной частоте.

Фидер выбирают исходя из волнового сопротивления, наименьшего коэффициента затухания и наименьшей емкости. Наиболее широко распространены кабели с сопротивлением 50 и 75 Ом.

Уменьшить коэффициент шума приемника можно путем выбора малошумящих активных элементов первых каскадов и увеличения усиления этих каскадов. В диапазонах ДВ, СВ, КВ применяют УРЧ на биполярных транзисторах, для уменьшения коэффициента шума используют полевой транзистор, а также каскадную схему ОЭ-ОБ, ОИ-ОБ.

Чувствительность приемника можно улучшить путем снижения полосы до пределов, достаточных для усиления спектра принимаемых сигналов.

При выборе средств обеспечения чувствительности надо рассчитать по заданному значению отношения сигнал/шум на выходе приемника значение отношения сигнал/шум на его входе и допустимый коэффициент шума, исходя из заданной чувствительности. Для выбранной схемы преселектора и преобразователя частоты следует рассчитать коэффициент шума приемника с учетом затухания сигнала в фидере. Если полученное значение коэффициента шума меньше допустимого, выбор схемы осуществлен правильно. В противном случае следует выбрать другую схему и провести расчет заново [7].

При выборе средств обеспечения избирательности необходимо рассчитать исходя из заданных в техническом задании значений ослабления побочных и соседних каналов и выбрать значение промежуточной частоты, выбрать тип и количество избирательных систем в преселекторе и УГТЧ, выбрать или рассчитать их затухание.

Избирательность по побочным каналам приема можно обеспечить путем увеличения числа и добротности контуров преселектора, увеличения значения промежуточной частоты, выбором инфрадинной схемы. Во входной цепи и УРЧ применяют, как правило, одноконтурные избирательные системы. Двухконтурные фильтры используются при повышенных требованиях к избирательности. Увеличение числа контуров затрудняет обеспечение высокой чувствительности радиоприемника. В перестраиваемых контурах невозможно реализовать высокую добротность, поэтому обычно при выбранной схеме преселектора требуемую избирательность по зеркальному каналу обеспечивают выбором высокой промежуточной частоты. Здесь необходимо помнить, что на высокой промежуточной частоте сложнее обеспечить хорошую избирательность по соседнему каналу.

При жестких требованиях к избирательности и по побочным, и по соседнему каналам применяют двойное, а в отдельных случаях и тройное преобразование частоты. Например, если задана избирательность по зеркальному каналу 70 дБ и более и избирательность по соседнему каналу 70 дБ и более, следует применить двойное преобразование. При этом выбор высокой первой промежуточной частоты обеспечивает избирательность по зеркальному каналу, а выбор низкой второй промежуточной частоты -

избирательность по соседнему каналу. При двойном преобразовании возникают дополнительные каналы приема, необходимо обеспечить их подавление не хуже заданного.

В диапазонных приемниках с двойным преобразованием применяется верхняя настройка первого перестраиваемого гетеродина для обеспечения перекрытия диапазона частот. В перестраиваемом гетеродине трудно обеспечить стабильность частоты лучше 10^{-4} . Нижняя настройка второго гетеродина позволяет понизить его частоту и облегчить обеспечение его высокой стабильности. Частота второго гетеродина, как правило, стабилизируется кварцевым резонатором.

При очень жестких требованиях к избирательности по зеркальному каналу применяют инфрадинную схему приемника, когда первая промежуточная частота больше максимальной частоты принимаемых сигналов. В этом случае контуры преселектора реализуются в виде широкополосного неперестраиваемого ФНЧ, а настройка осуществляется изменением частоты настройки гетеродина. Такое построение приемника предъявляет серьезные требования к линейности первых каскадов для обеспечения многосигнальной избирательности. Для этого УРЧ выполняются, как правило, на дискретных транзисторах средней мощности с увеличенными до 10...50 мА токами коллектора (стока), а усилитель иногда охватывают отрицательной обратной связью.

При выборе значения **промежуточной частоты** f_n , необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- Нельзя выбирать значение f_n , равное одной из частот диапазона приемника. В этом случае все каскады настроены на одну частоту, что ухудшает устойчивость приемника.
- Нельзя выбирать значение f_n , близкое значению частоты мощной близко расположенной радиостанции. В этом случае невозможно обеспечить избирательность по каналу прямого прохождения.
- Выбор высокой промежуточной частоты кроме улучшения избирательности по зеркальному каналу ослабляет действие других дополнительных каналов приема, упрощает разделение частот несущей и частот модуляции в детекторе, снижает влияние параметров контура сигнала на параметры контура гетеродина, что увеличивает стабильность частоты гетеродина и уменьшает уровень его паразитного излучения через антенну приемника.
- Выбор низкой промежуточной частоты увеличивает избирательность по соседнему каналу, позволяет получить более узкую полосу пропускания УПЧ.
- Применение в УПЧ стандартных фильтров снижает стоимость приемника.

В радиовещательных приемниках в соответствии с ГОСТ 5651-82 промежуточные частоты следует выбирать из ряда $0,465 \pm 0,002$; $1,84 \pm 0,008$;

2,9±0,01; 10,7±0,1; 24,975±0,1 МГц. Следует учитывать, что наибольшее распространение получили отработанные в производстве фильтры на 465 кГц для УПЧ тракта приема амплитудно-модулированных сигналов и фильтры на 10,7 МГц при приеме частотно-модулированных сигналов.

В приемниках систем подвижной радиосвязи стремятся использовать те же сравнительно дешевые фильтры на 465 кГц и 10,7 МГц. При двойном преобразовании частоты в приемниках ВЧ и ОВЧ диапазонов выбирают $f_{n1} = 10,7$ МГц; $f_{n2} = 465$ кГц. В конце ОВЧ диапазона и начале УВЧ диапазона использование $f_{n1} = 10,7$ МГц не обеспечивает требуемой избирательности по зеркальному каналу. В этом случае выбирают $f_{n1} = 21,4$ МГц или $f_{n1} = 24,975$ МГц. В СВЧ приемниках распространены значения промежуточных частот 30 и 70 МГц. В РПрУ военного применения значения промежуточных частот выбираются нестандартными и держатся в секрете. Фильтры на такие промежуточные частоты изготавливаются по специальному заказу.

Полосой пропускания радиоприемника называют полосу пропускания УПЧ. При выборе структурной схемы необходимо рассчитать полосу пропускания, обеспечив запас на нестабильность частоты принимаемых сигналов и нестабильность частоты гетеродина. При большой нестабильности гетеродина решается вопрос о применении частотной или фазовой автоматической подстройки частоты. Значения полосы пропускания, промежуточной частоты и требуемое ослабление соседнего канала служат основанием для выбора конкретного типа фильтра УПЧ. Обозначения и параметры некоторых фильтров приведены в приложении А.

Для нормальной работы детектора в приемнике требуется обеспечить необходимое усиление. Основное усиление в супергетеродинном приемнике осуществляется в УПЧ. Усиление УРЧ определяется условиями обеспечения заданной чувствительности, устойчивого коэффициента усиления и условиями нормальной работы преобразователя частоты. Необходимо рассчитать требуемое усиление от антенны до детектора, устойчивые коэффициенты усиления каскадов УРЧ и УПЧ, требуемый коэффициент усиления УПЧ. При использовании интегральных схем (ИС) расчет ведется с учетом минимально допустимого уровня сигнала на их входе. Например, если в состав ИС входит УПЧ, частотный детектор и предварительный УЗЧ, а УРЧ, смеситель и основной УЗЧ реализованы на транзисторах, при расчете коэффициентов усиления транзисторных каскадов учитывается напряжение на входе и выходе ИС. Если же смеситель входит в состав ИС, то рассчитываются коэффициенты усиления транзисторного УРЧ и УЗЧ.

С целью повышения надежности приемника стремятся применить возможно меньшее число каскадов усиления при обеспечении их устойчивости.

На этапе выбора структурной схемы проводят проверку возможности осуществления **регулировок**.

Автоматическую регулировку усиления осуществляют путем изменения крутизны электронных приборов, изменения коэффициента передачи

специально введенных в додетекторный тракт аттенюаторов, регулировкой межкаскадных связей, регулировкой обратной связи. Регулировке подвергаются каскады УПЧ и УРЧ. Число регулируемых каскадов стараются свести к минимуму.

Ручную регулировку усиления применяют обычно в низкочастотных каскадах приемников путем изменения межкаскадной связи.

Ручная регулировка полосы пропускания применяется для подавления внутрисполосных помех. При дискретной регулировке переключаются фильтры УПЧ с разной шириной полосы пропускания. Плавно регулировать полосу можно путем изменения эквивалентной добротности контура, изменения связи между контурами.

Автоматическая подстройка частоты гетеродина необходима в случае, если другими мерами не удастся достичь приемлемого значения запаса полосы на нестабильность.

На этапе выбора структурной схемы необходимо рассмотреть возможность применения современных цифровых фильтров в УПЧ, цифровых синтезаторов частоты, цифровых устройств управления приемником и т.д.

1.2. Выбор и расчёт принципиальной схемы

В результате предыдущего этапа проектирования выбрана структурная схема приёмника, определены типы и количество активных элементов и интегральных схем, выбрано количество контуров преселектора, их затухание, фильтры промежуточных частот. Результаты расчёта структурной схемы являются частью исходных данных для выбора и расчёта отдельных узлов, блоков, каскадов приёмника.

Выбор того или иного технического решения зависит от назначения приемника, условий его эксплуатации, диапазона рабочих частот и т.д. При этом следует учитывать особенности различных типов приемников, сведения о которых приведены в специальной литературе [9-18].

При выборе принципиальной схемы следует стремиться к наиболее простому и дешевому решению, удовлетворяющему требованиям технического задания и требованиям, разработанным при расчёте структурной схемы.

1.2.1. Выбор элементной базы

В процессе расчёта принципиальной схемы могут быть уточнены типы и требуемые параметры активных элементов, интегральных схем, фильтров. Окончательный выбор элементной базы РПрУ проводится после разработки структурной схемы. При выборе элементной базы следует использовать рекомендации, приведенные в литературе по проектированию

РПРУ и сведения о параметрах диодов, транзисторов, ИС, приведенных в справочно-информационной литературе.

Выбор транзисторов осуществляется исходя из коэффициента усиления, граничной частоты, коэффициента шума, напряжения питания, температурной стабильности и стоимости.

Выбор интегральных схем (ИС) проводится в соответствии с их функциональным назначением, степенью универсальности, электрическими характеристиками, степенью интеграции и конструктивным исполнением [8].

При выборе ИС *по их функциональному назначению* следует учитывать, что функциональные возможности универсальных ИС шире приводимых в справочных данных. Заданная структура специализированных ИС часто заставляет разработчика перерабатывать структурную схему блока или устройства таким образом, чтобы привести в соответствие требования к блоку и параметры применяемой ИС.

Наибольшей степенью *универсальности* обладают многофункциональные усилители, применяемые в качестве усилителей постоянного тока, усилителей низкочастотных и высокочастотных сигналов, сумматоров, регулируемых усилителей; для генерации, фильтрации, ограничения, демодуляции, частотного преобразования, умножения частоты, и аналоговые перемножители, на основе которых строят узлы, осуществляющие частотное преобразование, перемножение сигналов, умножение частоты, регулировку усиления, модуляцию и демодуляцию.

Малой степенью универсальности обладают специализированные ИС и узлы РПРУ (фильтры, генераторы, демодуляторы, узлы ФАП) и подсистемы РПРУ (тракты АМ, ЧМ, цифровые синтезаторы). ИС средней степени универсальности (широкополосные усилители, СВЧ смесители, аналого-цифровые ИС) занимают промежуточное положение по степени универсальности.

Степень интеграции применяемых ИС выбирают исходя из назначения приемника, области применения, условий эксплуатации, экономических факторов. Например, в профессиональных связных приемниках, радиовещательных стационарных приемниках высокого качества могут быть применены корпусные полупроводниковые или гибридные ИС малого уровня интеграции. В массовых радиовещательных и телевизионных приемниках, объем реализации которых велик, экономически целесообразно использовать ИС среднего и большого уровня интеграции. В этом случае окупаются большие затраты, связанные с разработкой, подготовкой производства и серийным выпуском ИС высокой степени интеграции. В бортовых приемниках подвижных объектов (автомобили, летательные аппараты) также целесообразно применение ИС повышенного уровня интеграции, поскольку при этом легче удовлетворить высоким требованиям к массо-габаритным показателям, надежности, потребляемой мощности и жестким условиям эксплуатации.

При выборе специализированных ИС необходимо учитывать, что наряду

с улучшением массо-габаритных показателей приемников, улучшением автоматизации их сборки, уменьшением стоимости в расчете на один функциональный элемент, у этих приемников возникают проблемы с отводом тепла, наличием наводок и обеспечением устойчивой работы приемника.

Линейные интегральные схемы подразделяются на ИС общего применения и ИС частного применения. Первые выпускаются серийно для нужд всех отраслей, вторые - предприятиями-разработчиками конкретных приборов для применения в этих приборах и используются в профессиональной аппаратуре. Справочные данные ИС частного применения, как правило, недоступны при учебном проектировании, поэтому при выполнении курсового проекта следует ориентироваться на ИС общего применения, сведения о которых имеются в литературе [19,20].

Объем работы по проектированию функциональных узлов приемника существенно зависит от степени интеграции ИС. Если выбрана специализированная ИС высокой степени интеграции, то процесс проектирования принципиальной схемы узла фактически отсутствует. В этом случае, используя справочные сведения о применении интегральной схемы, схеме ее включения, электрических параметрах и т.д., следует выполнить рекомендации разработчиков данной ИС по ее применению.

При выборе универсальных ИС проектирование приемника должно включать расчет параметров и характеристик отдельных узлов (например, коэффициентов усиления, преобразования, передачи), а также расчет подключенных к ИС резисторов, конденсаторов, контуров, дросселей и элементов согласующих цепей.

Выбор ИС по электрическим параметрам проводится в процессе расчёта соответствующего узла [8]. Выбор ИС **по конструктивному исполнению** осуществляется исходя из стоимости ИС, условий эксплуатации устройства, требований к габаритным размерам прибора. Современным решением является выбор ИС с планарными выводами. Бескорпусные ИС применяются в основном при использовании гибридно-плёночной технологии изготовления узлов и блоков при обязательной их общей герметизации. Предварительный выбор серии ИС можно сделать по данным таблицы.

Т а б л и ц а

Серии и назначение интегральных схем, используемых в РПрУ

Обозначение серии	Состав серии, назначение, конструктивные особенности
К142	Источники питания,
К157	Функционально сопряженные между собой ИС, предназначенные для построения функциональных узлов радиовещательных приемников и магнитол

K171	Комплект ИС для аппаратуры радиосвязи и радиоэлектронной техники
K174	Комплект ИС для радиовещательной, звуковоспроизводящей, телевизионной аппаратуры
K157	Предназначены для применения в трактах промежуточной частоты радиовещательной и связной техники
K525	Используются для аналоговой обработки и преобразования сигналов в устройствах автоматического управления радиоаппаратуры, а также в измерительных и вычислительных устройствах аппаратуры связи
526	Применяются в качестве балансных смесителей, балансных модуляторов, демодуляторов, умножителей частоты, различных детекторов
KФ548	Предназначены для построения безиндуктивного супергетеродинного радиоприемника ДВ и СВ диапазонов с низким напряжением питания
253	Серия конструктивно оформлена в корпусе типа «Акция» и предназначена для использования в КВ и УКВ радиоэлектронной аппаратуре

Например, УКВ ЧМ приемник можно построить на базе ИС K174XA24, K174XA26, K174XA34, KXA-058, AK9401, K1066XA2, телевизионные приемники черно-белого и цветного изображения - на ИС серий K174, KP1005, KP1021. В усилителях звуковых частот РПрУ широко используются ИС K174УНхх, в качестве стабилизаторов напряжения питания - K142ЕНхх. Устройство управления, индикации и настройки РПрУ можно построить на ИС серии K174, K574, K1003, K1006, K1109, KP1506.

Важное значение при проектировании радиочастотного тракта РПрУ имеет правильный выбор конденсаторов по их температурному коэффициенту емкости (ТКЕ). При изменении температуры значительно меняется емкость конденсатора, что приводит к изменению настройки колебательных контуров, ухудшению избирательности и чувствительности. Необходимо выбирать конденсаторы с малым ТКЕ. В частности, в колебательных контурах применяют керамические и слюдяные конденсаторы с $\text{ТКЕ} \pm 30 \cdot 10^{-6}$.

Внимательно следует подходить также к выбору резисторов. Для использования в РПрУ их выбирают исходя из номинального сопротивления, допустимого отклонения от номинального значения сопротивления, номинальной мощности рассеяния (значение номинальной мощности рассеяния выбираются из ряда 0,01; 0,025; 0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 8; 10; 16; 25; 50; 75; 100; 160; 250; 500), уровня собственных шумов.

Среди резисторов широкого применения наименьшее значение ЭДС собственных шумов $E_{\text{ш}} = 0,5 \text{ мкВ/В}$ имеют бороуглеродистые прецизионные

резисторы БЛП. Углеродистые резисторы ВС обладают ЭДС шумов от 1 до 5 мкВ/В, ЭДС шумов металлодиэлектрических прецизионных резисторов С2-13, С2-14, С2-15 составляет 1 мкВ/В.

1.2.2. Выбор контурных систем и расчет входной цепи

Современные приемники характеризуются широким использованием элементов, выполненных по интегральной технологии. В настоящее время нет такого фильтра, совместимого с технологией ИС, который мог бы полностью заменить LC фильтр во входной цепи и усилителе радиочастоты. Несмотря на то, что современные фильтры на интегральных кварцевых резонаторах, поверхностных акустических волнах по отдельно взятым показателям значительно лучше обычных LC фильтров, их применению во входных цепях препятствуют сравнительно большие потери в полосе пропускания. Кроме того, LC фильтры и катушки индуктивности выполняют функции трансформации полных сопротивлений, компенсации паразитных емкостей активных приборов, что широко используется на практике.

При проектировании входной цепи (ВЦ) выбирают способ связи с антенной и УРЧ, рассчитывают параметры элементов ВЦ, коэффициенты включения антенны и УРЧ в контур входной цепи, коэффициент передачи по мощности и/или напряжению, полосу пропускания, ослабление зеркального канала и канала прямого прохождения, коэффициент шума.

Важным вопросом является выбор способа связи ВЦ с антенной и входом первого активного элемента приёмника. Способ связи выбирают таким образом, чтобы обеспечить постоянство коэффициента передачи и полосы пропускания ВЦ по диапазону.

Наиболее простой является *непосредственная связь* контура ВЦ с антенной, но при таком виде связи параметры антенны очень сильно влияют на ВЦ, и показатели ВЦ значительно меняются в диапазоне.

Внешнеемкостная связь проста, обеспечивает большой коэффициент передачи по напряжению и хорошую избирательность. Внешнеемкостную связь используют в приёмниках с малым коэффициентом диапазона, поскольку ВЦ с такой связью имеет большую неравномерность параметров по диапазону.

Внутриемкостная связь с антенной обеспечивает хорошее постоянство коэффициента передачи по диапазону, но имеет сильную зависимость коэффициента передачи от ёмкости антенны и используется сравнительно редко.

Индуктивная связь с антенной в режиме укорочения ($f_a > f_{c \text{ макс}}$) используется, когда УРЧ приёмника выполнен на полевом транзисторе. Коэффициент передачи в этом случае пропорционален частоте. В случае применения биполярного транзистора коэффициент передачи меняется пропорционально квадрату или кубу частоты. Этот режим используется при малом коэффициенте диапазона и в сочетании с емкостной связью контура ВЦ с транзистором УРЧ, которая имеет обратно пропорциональную частоте

зависимость коэффициента передачи.

В режиме удлинения ($f_a < f_{c \text{ мин}}$) коэффициент передачи уменьшается с частотой. Из-за роста коэффициента усиления УРЧ коэффициент усиления преселектора меняется по диапазону незначительно.

Комбинированная связь с антенной обеспечивает малую неравномерность коэффициента передачи по диапазону, большой коэффициент передачи и хорошую избирательность, поэтому такая связь используется в высококачественных радиовещательных и связных приёмниках.

Тип связи контура ВЦ со входом УРЧ выбирается из соображений обеспечения постоянства параметров ВЦ по диапазону. Если выбранная связь ВЦ с антенной обеспечивает рост коэффициента передачи ВЦ по диапазону, то связь ВЦ с УРЧ должна обеспечивать уменьшение коэффициента передачи и наоборот.

Нежелательно выбирать трансформаторную связь входной цепи и с антенной, и с УРЧ, поскольку при этом требуется изготовить катушку с шестью выводами, а такие катушки сложны и дороги.

При выборе связи контура ВЦ с **настроенной антенной** следует учитывать степень изменения параметров антенны в процессе эксплуатации. Если параметры антенны практически постоянны, используют сильную связь, обеспечивающую большой коэффициент передачи ВЦ. *Трансформаторная связь* используется при симметричном фидере на частотах до 150-170 МГц. *Автотрансформаторная связь* и *внутриемкостная связь* применяются при несимметричном фидере. *Внутриемкостную связь* используют на более высоких частотах (до 500 МГц) за счёт того, что полная ёмкость контура при таком виде связи уменьшается.

В *двухконтурных ВЦ* с настройкой ёмкостью рекомендуется уменьшать коэффициент связи между контурами с ростом частоты. Наиболее часто применяются следующие комбинации типов связи между контурами: *внутриемкостная* и *внешнеемкостная связь* или *трансформаторная* и *внутриемкостная связь*. Для лучшего постоянства параметров ВЦ в диапазоне частот связь первого контура с антенной надо выбирать иного типа, чем связь между контурами.

В **дециметровом диапазоне волн** для построения контуров используются коаксиальные и полосковые резонансные линии. Наибольшее распространение получили четвертьволновые отрезки замкнутой линии и полуволновые отрезки разомкнутой линии, эквивалентные параллельному колебательному контуру. Геометрическая длина линии выбирается меньше, чем электрическая с целью уменьшения габаритных размеров преселектора. Для удлинения линии к её концу подключается конденсатор, обеспечивающий перестройку контура по диапазону. В зависимости от задачи может применяться *надстроечный конденсатор*, параллельно включенные *переменный* и *подстроечный конденсаторы* или *варикап*.

Широко распространена трансформаторная связь ВЦ с антенной и УРЧ, осуществляемая с помощью петли связи. В двухконтурных ВЦ связь между контурами легче обеспечить через щель в перегородке между камерами,

содержащими контуры ВЦ.

В ОВЧ и УВЧ диапазонах применяют спиральные резонаторы, обеспечивающие хорошую избирательность по побочным каналам приёма. Наилучшими характеристиками обладают резонаторы, имеющие связь посредством краевых полей или электромагнитную связь через отверстие. В фильтрах радиоприемников сухопутной подвижной связи используется следующая особенность спиральных резонаторов: связь между резонаторами можно менять путём вращения спиралей вокруг их осей, не меняя расстояния между ними и тем самым не увеличивая габаритные размеры фильтра.

В приёмниках **СВЧ сигналов** входное устройство выполняет несколько функций. Это частотная избирательность полезных сигналов и подавление помех на нерабочих частотах, защита первого каскада от перегрузки мощными сигналами на рабочих частотах, уменьшение влияния изменения выходного импеданса антенно-фидерного устройства на стабильность характеристик первого каскада.

Частотная избирательность осуществляется за счёт применения соответствующего полосового фильтра. Защиту первого каскада от перегрузки в импульсных радиолокаторах обеспечивают с помощью специальных разрядников и ограничителей СВЧ мощности. Стабилизировать выходной импеданс источника сигнала приёмника можно с помощью невзаимных устройств: ферритовых циркуляторов и вентилях. На СВЧ стремятся снизить потери для обеспечения заданного коэффициента шума.

1.2.3. Выбор и расчёт усилителя радиочастоты

Из технического задания, а также в результате расчета структурной схемы приемника известны необходимые для проектирования усилителя (УРЧ или УПЧ) следующие параметры: требуемые коэффициенты усиления *по* напряжению и/или мощности; средняя частота настройки усилителя; полоса пропускания; допустимый коэффициент шума; тип и количество резонансных систем, обеспечивающих избирательность; способ настройки контуров и граничные частоты диапазона; требуемый коэффициент устойчивости; параметры нагрузки усилителя; эксплуатационные требования.

Необходимо рассчитать элементы цепей питания усилителя, коэффициенты включения усилительных приборов в контур, резонансный коэффициент усиления, элементы контура, его эквивалентное затухание, ослабление мешающих сигналов, коэффициент шума или шумовую температуру, коэффициент усиления мощности, полосу пропускания.

На **умеренно высоких частотах** применяют УРЧ на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Такой УРЧ имеет большой коэффициент усиления по мощности и невысокий уровень шумов. На более высоких частотах транзистор включают по схеме с общей базой (ОБ). Уменьшить коэффициент шума приёмника можно за счёт

использования в УРЧ полевого транзистора. Наиболее распространена схема с общим истоком (ОИ). Обеспечить большое усиление и малый коэффициент шума позволяет каскадная схема ОЭ-ОБ. В узкополосных УРЧ нашла применение каскадная схема ОИ-ОБ, имеющая большое входное сопротивление и высокий коэффициент усиления, в широкополосных УРЧ применяют каскадную схему ОИ-ОЭ.

Возможно реализовать УРЧ на интегральных схемах. Выбор ИС, позволяющих реализовать требуемые характеристики высокочастотного усилителя, как правило, не является однозначным ввиду их многообразия. При этом необходимо так выбрать интегральные схемы, чтобы реализовать заданные параметры устройства минимальными средствами. Необходимо внимательно подходить к выбору ИС для УРЧ, учитывая её коэффициент шума, усиление и граничную частоту.

Применение полупроводниковых ИС в УРЧ менее предпочтительно, т.к. их верхний предел по частоте не превышает 100-200 МГц. Кроме того, они уступают гибридным ИС по шумовым свойствам. По этим причинам усилители радиочастот следует строить на гибридных ИС, микросборках, транзисторных сборках или специальных малошумящих усилителях.

На первом этапе рекомендуется отобрать серии ИС по заданным условиям эксплуатации. При учебном проектировании эти требования могут быть не заданы, однако исходя из назначения приемника необходимо определить механические, климатические условия, требуемую стабильность напряжений источников питания.

После выбора серии ИС по эксплуатационным характеристикам следует выбрать несколько интегральных схем с учетом их функциональных параметров, конструктивного оформления и массы. Здесь требуется обратить особое внимание на шумовые и усилительные свойства ИС на рабочей частоте, а также на устойчивость ее работы.

Малошумящие УРЧ и первые каскады УПЧ часто выполняют на гибридных ИС, специально разработанных для этих целей. В справочниках обычно приводится коэффициент шума таких интегральных схем. Известно, что при одинаковых прочих параметрах наименьший коэффициент шума позволяют обеспечить схемы включения ОЭ-ОБ, ОЭ-ОБ-ОК. Дополнительное уменьшение коэффициента шума может быть получено за счет оптимального подключения ИС ко входу приемника.

В диапазонах *ВЧ* и *ОВЧ* для построения узкополосных приёмников хорошо себя зарекомендовала ИС BVR-01. Эта ИС содержит УРЧ, смеситель и предварительный УГТЧ. Напряжение питания BVR-01 можно выбирать из диапазона 3...9 В. На частоте 150 МГц достигнута чувствительность 0,3 мкВ при отношении сигнал/шум 12 дБ. При более жестких требованиях к чувствительности приемника подобрать ИС, обеспечивающую заданный коэффициент шума, как правило, не удастся.

В диапазоне *ультравысоких частот* и выше усилители радиочастоты строятся на транзисторах для обеспечения малого коэффициента шума. В настоящее время разработаны транзисторы, имеющие на частотах 1 ...2,5 ГГц

коэффициент шума 1,5...3 дБ. Биполярные транзисторы включают по схеме с ОБ, поскольку при этом включении можно использовать тот же транзистор на более высоких частотах, однако следует учитывать увеличение коэффициента шума и снижение усиления.

Контурные системы УРЧ аналогичны контурным системам ВЦ, индуктивность контура УРЧ и элемент настройки выбирают такими же, как индуктивность и элемент настройки входной цепи.

На *сверхвысоких частотах* применяются разнообразные типы УРЧ. Чаще всего не удается подобрать ИС с требуемыми шумовыми свойствами, поэтому используют другую элементную базу. Затруднительно дать общие рекомендации по выбору УРЧ для приемника СВЧ сигналов, поэтому при его проектировании следует обратиться к специальной литературе, например, [6, 7, 11].

1.2.4. Выбор фильтра промежуточной частоты

Фильтр промежуточной частоты выбирают по центральной частоте, полосе пропускания, требуемому ослаблению соседних каналов, коэффициенту прямоугольности, затуханию за пределами полосы пропускания, габаритным размерам. В усилителях промежуточной частоты большинства современных радиоприемников используются фильтры сосредоточенной избирательности (ФСИ). Первыми ФСИ были *электрические LC фильтры*, ныне они почти не применяются из-за сложности проектирования, изготовления и настройки. В электрических ФСИ, работающих на частотах 50... 1000 МГц, применяют **спиральные резонаторы**, которые позволяют получить добротность 400...800. На частотах ниже 10 МГц возможно применение активных RC фильтров, хотя в бытовых радиовещательных и связных приемниках такие фильтры, как правило, не применяются.

Электромеханические фильтры имеют высокие добротность, температурную стабильность, хороший коэффициент прямоугольности, но время и стоимость их разработки весьма велики. Кроме того, из-за физических ограничений на размер механических элементов электромеханические и пьезомеханические фильтры применяются только на частотах ниже 1 МГц.

Пьезоэлектрические фильтры имеют высокую стабильность характеристик и параметров, малые габаритные размеры. Кварцевые фильтры позволяют получить очень узкую (десятки, сотни герц) полосу пропускания. В массовой аппаратуре применяются пьезокерамические фильтры. Они имеют меньшую температурную и временную стабильность, но более дешевы. Для того, чтобы реализовать заданные параметры фильтра, в электрической цепи его необходимо согласовать с нагрузкой. Пьезокерамические фильтры имеют малое затухание в полосе пропускания и крутые спады частотной характеристики, однако затухание этих фильтров за пределами полосы пропускания возрастают немонотонно. Поэтому

необходимо включить перед фильтром резонансный контур, который одновременно служит трансформатором, согласующим выходное сопротивление активного элемента с входным сопротивлением фильтра.

Фильтры на ПАВ высоко технологичны, надежны, имеют хорошую повторяемость параметров, позволяют получать близкую к прямоугольной АЧХ при линейной ФЧХ. Фильтры на ПАВ применяются на частотах от 10 до 1000 МГц.

В системах подвижной радиосвязи часто требуется обеспечить подавление соседнего канала 70...90 дБ при расстройке ± 25 кГц. В отечественных и зарубежных радиостанциях наибольшее распространение получили **кварцевые фильтры** с центральными частотами 10,7 и 21,4 МГц. Для дополнительного подавления соседнего канала могут быть применены электромеханические фильтры, например, ЭМФДП-500-5Р-500-18С, фильтры на частотах ниже 500 кГц, два однотипных или разных кварцевых фильтра, имеющих одну и ту же частоту настройки.

В случае, если нет типовых фильтров с требуемой полосой пропускания, используют пару расстроенных фильтров [4]. Выбирают два фильтра таким образом, чтобы разность верхней граничной частоты полосы пропускания первого фильтра и нижней граничной частоты полосы пропускания второго фильтра была равна требуемой полосе пропускания УПЧ:

$f_{в1} - f_{н2} = \Pi$. Фильтры включают через буферный каскад. Промежуточная частота в этом случае $f_{П} = (f_{в1} - f_{н2})/2$. Необходимо рассчитать затухание в полосе пропускания такой избирательной системы и компенсировать его путем соответствующего увеличения коэффициента усиления УПЧ.

Необходимо распределить допустимые частотные искажения сигнала между контурами преселектора, фильтрами промежуточных частот и трактом частот модулирующего сигнала таким образом, чтобы результирующая характеристика избирательности приемника имела полосу, соответствующую ширине полосы частот модулирующего сигнала.

Требуемое ослабление соседнего канала в приемнике с двойным преобразованием частоты распределяют между фильтрами первой и второй промежуточных частот.

1.2.5. Выбор и расчет преобразователя частоты и гетеродина

При проектировании преобразователя необходимо выбрать его схему, рассчитать коэффициенты передачи напряжения и мощности, входную и выходную проводимость, коэффициент шума, ослабление мешающих каналов приема, потери преобразования, коэффициент подавления шума гетеродина, номиналы элементов цепей питания активного прибора и цепей связи с контурной системой.

Смеситель и гетеродин входят в состав многих ИС, используемых в приемниках радиосвязи и радиовещания. Если ни одна из существующих ИС не может удовлетворить требованиям технического задания, следует строить смеситель и гетеродин на другой элементной базе.

В качестве смесителя широко применяются **перемножители сигналов**. Имеются интегральные перемножители сигналов 525ПС1, 526ПС1, 174ПС1, 174ПС4, Н525ПС4, 235ПС2 и др. Полупроводниковые ИС имеют большой коэффициент шума, поэтому к выбору таких ИС для использования в преобразователе частоты радиоприемника следует подходить особо осторожно.

В дециметровом и сантиметровом диапазонах волн в смесителе можно применить диодные микросборки, например ААС121, АА122.

Смеситель преобразователя частоты можно построить на базе **дифференциального усилителя**. Такой усилитель имеется в составе интегральных схем К175УВ4, К435УВ1, К235УВ1. Частотный диапазон этих ИС позволяет создать смесители и преобразователи частоты, работающие до 150...200 МГц. Достоинством таких смесителей является сравнительно высокий диапазон частот, малое энергопотребление, а недостатком - сравнительно узкий динамический диапазон входных сигналов ($U_{ВХ} < \varphi_T = 26$ мВ), а также зависимость крутизны преобразования от напряжения гетеродина и повышенные требования к фильтрации напряжения сигнала (гетеродина), т.к. одно из них проходит на выход.

Применение в смесителе **двухзатворного полевого транзистора** позволяет обеспечить хорошую развязку контуров частоты сигнала и частоты гетеродина.

Важно обеспечить хорошую **стабильность частоты гетеродина** РПрУ. Нестабильность частоты гетеродина приводит к необходимости расширения полосы пропускания приемника за счет запаса полосы на нестабильность. Это ухудшает избирательность, уменьшает отношение сигнал/шум и ухудшает чувствительность. Для уменьшения нестабильности частоты гетеродина применяют кварцевые резонаторы и стабилизацию напряжения питания гетеродина. В профессиональной аппаратуре применяют *термокомпенсацию* гетеродина и его герметизацию, в особо ответственных случаях используют *термостатирование*. В радиовещательных приемниках стабильность можно обеспечить при выполнении гетеродина из деталей с малыми температурными коэффициентами нестабильности и использовании термокомпенсации.

В большинстве современных радиоприемниках в качестве гетеродина применяется *синтезатор частоты* (СЧ). Он позволяет осуществить быструю перестройку по диапазону, обеспечить точную установку частоты, имеет высокую стабильность частоты, а, значит, в приемнике обеспечивается хорошая избирательность и чувствительность. Недостатком синтезатора является наличие в его выходном спектре комбинационных частот. Для снижения комбинационных побочных колебаний оптимизируют структуру СЧ при его разработке; выбирают частоты всех автогенераторов синтезатора таким образом, чтобы комбинационные колебания не попали внутрь диапазона гетеродина приемника; используют фильтры после каждого преобразования частоты.

Шумы гетеродина преобразуются в преобразователе частоты, попадают в

полосу сигнала и зеркального канала. Это приводит к увеличению мощности шума на выходе и ухудшает чувствительность приемника. Для уменьшения шумов используют активные приборы с малым коэффициентом шума, выбирают режим работы узлов синтезатора со значительным уменьшением глубины паразитной амплитудной модуляции, применяют цифровые устройства в узлах СЧ. В усилителях высокой частоты, входящих в состав гетеродина, для ослабления эффекта сложения собственных шумов с шумами усиливаемого сигнала обеспечивают оптимальный режим работы и подбирают связь с источником сигнала.

Если проектирование синтезатора не предусмотрено техническим заданием, необходимо выбрать схему СЧ. Существует довольно много ИС, позволяющих реализовать синтезатор частот с заданными параметрами (КР1015, КР1051, КБ1507, КБ1508, К1098). При использовании СЧ в проектируемом приемнике следует также выбрать схему контроллера, изучить ее работу и быть готовым обсуждать ее на защите.

При проектировании гетеродина следует обратиться к специальной литературе [21-23].

1.2.6. Выбор и расчет детектора

При проектировании детектора необходимо выбрать его схему, рассчитать параметры элементов исходя из допустимых искажений сигнала, коэффициент передачи детектора, коэффициент фильтрации напряжения промежуточной частоты, коэффициент подавления паразитной АМ в частотном детекторе и т.д.

Выбор и расчет детекторов на дискретных диодах и транзисторах широко освещены в специальной и учебной литературе [1, 4, 5, 7]. Рассмотрим вопросы проектирования детекторов на интегральных схемах. Детекторы входят в состав ИС серий 119, 157, 174, 175, 435, 235.

Для детектирования сигналов в приемниках на ИС применяются различные типы детекторов и демодуляторов. **Амплитудные детекторы** (АД) на ИС в зависимости от частотного диапазона, типа детектора (обычный, синхронный и т.п.) могут быть построены на операционных усилителях (ОУ) с нелинейной обратной связью, на аналоговых перемножителях, а также с использованием интегральных схем АД соответствующих серий.

Интегральные схемы амплитудных детекторов с рабочими частотами до 100...200 МГц имеются в сериях К435 и К235. Например, ИС К435ДА1 содержит амплитудный детектор и УПТ. Она имеет следующие параметры: верхняя граничная частота не менее 200 МГц, коэффициент передачи 0,65 при входном напряжении 180 мВ, входное сопротивление 15 Ом, входная емкость менее 20 пФ, напряжение питания 6 В.

В серии К235 имеются ИС К235ДА1 и К235ДА2, содержащие УПТ и АД, выполненный на транзисторе. Эти ИС могут быть использованы одновременно и как детекторы сигнала, и как детекторы АРУ.

Для приемников на ИС с промежуточной частотой, не превышающей

единицы мегагерц, могут быть спроектированы высококачественные АД на основе ОУ с диодами в цепи обратной связи (с нелинейной ОС). Верхняя граничная частота такого детектора определяется граничной частотой конкретного ОУ при выбранном коэффициенте усиления. В двухтактном детекторе на двух ОУ входной сигнал с амплитудой около 10 мВ детектируется еще с незначительными искажениями, в то время как в обычных линейных диодных детекторах уровень сигнала должен превышать 0,5..1 В.

На ИС перемножителей аналоговых сигналов могут быть построены когерентные (синхронные), корреляционные и другие типы амплитудных детекторов. Схема синхронного амплитудного детектора реализуется каскадным соединением перемножителя и фильтра нижних частот. Опорное напряжение для синхронного детектирования обычно формируют из принимаемого сигнала с помощью системы ФАПЧ. Однако в случае приема двухполосного АМ колебания при высоком отношении сигнал/помеха опорное напряжение можно получить проще, а именно, пропустив принимаемый АМ сигнал через ограничитель. Параметры синхронного детектора определяются параметрами конкретной ИС аналогового перемножителя.

Синхронный детектор входит в состав некоторых ИС субсистем приемных устройств. Например, в ИС К174ХА12 синхронный детектор реализуется на аналоговом перемножителе, входящем в состав второго фазового детектора, опорное колебание для которого вырабатывается системой ФАПЧ.

Реализация **фазовых детекторов** (ФД) на ИС проводится обычно на основе аналоговых перемножителей К525ПС1, К526ПС1, К174ПС1 К174ПС4, К435ХА1 и др. Фазовый детектор может быть построен и на основе дифференциального каскада, однако в этом случае уровень нелинейных искажений будет более высоким. Фазовые детекторы входят как составные узлы в ИС субсистем приемных устройств. Например, в составе ИС типа 174ХА12 находятся два фазовых детектора.

Частотные детекторы (ЧД) на ИС реализуют, как правило, на основе частотных детекторов с фазовым детектированием. В ЧД этого типа частотная модуляция преобразуется в фазовую и фазовый детектор используется для выделения модулирующей функции. Принцип действия таких ЧД основан на том, что при прохождении ЧМ колебания через цепь, вносящую идеальную задержку, фазовый сдвиг выходного колебания относительно входного повторяет закон изменения частоты. Роль опорного колебания выполняет в данном случае входной сигнал. Цепью задержки может служить линейный четырехполосник с линейной фазо-частотной характеристикой или линия задержки. В качестве линейного четырехполосника можно использовать одиночный колебательный контур или усилитель с одиночным колебательным контуром. Нелинейность фазо-частотной характеристики контура обуславливает наличие нелинейных искажений на выходе ЧД. От этого недостатка свободен ЧД с линией

задержки.

Достоинством ЧД с линией задержки является также в два раза более широкая полоса детекторной характеристики по сравнению с ЧД на связанных и ЧД на расстроенных контурах при одинаковом уровне нелинейных искажений и в 3-5 раз меньшее время переходного процесса ввиду отсутствия резонансных контуров. Последнее свойство очень важно при детектировании ЧМ импульсных сигналов. Во избежание появления «изрезанности» в форме детекторной характеристики линия задержки должна быть тщательно согласована с обоих концов.

1.2.7. Выбор и расчет системы автоматического регулирования усиления

Системы АРУ бывают разомкнутые (связь вперед) и замкнутые (связь назад, обратная связь). В приемнике с разомкнутой АРУ при изменении входного сигнала в широком диапазоне амплитуд наблюдается хорошее постоянство амплитуды выходного сигнала. Недостатками такой системы являются зависимость амплитуды выходного сигнала от стабильности параметров цепи АРУ и большая по сравнению с замкнутой системой длительность переходного процесса.

В большинстве современных приемников применяется **обратная АРУ с задержкой**. Наличие задержки позволяет не уменьшать коэффициент передачи радиотракта приемника при слабых сигналах, амплитуда которых не превышает напряжение задержки.

Исходными данными при расчете системы АРУ являются значения динамических диапазонов сигнала на входе и выходе приемника, максимальный коэффициент передачи регулируемого каскада, номинальное значение амплитуды выходного напряжения, коэффициенты усиления нерегулируемых усилителей радиотракта, нижняя частота модуляции, максимальный коэффициент модуляции, допустимое изменение коэффициента модуляции, допустимый коэффициент нелинейных искажений.

В результате расчета АРУ необходимо определить эффективность АРУ, коэффициент усиления цепи обратной связи АРУ K_{APY} , начальное значение коэффициента передачи регулируемого каскада, постоянную времени фильтра АРУ. По величине эффективности и K_{APY} выбирают способы регулирования усиления и количество регулируемых каскадов [7, 24].

Быстродействие системы АРУ приемников непрерывных АМ сигналов характеризуется постоянной времени АРУ. Ее значение определяется постоянной времени фильтра АРУ и коэффициентом усиления цепи обратной связи. Фильтр АРУ определяет инерционные свойства системы, служит для фильтрации гармоник информационного сигнала, устраняет обратную связь по промежуточной частоте. Постоянную времени фильтра выбирают таким образом, чтобы на его выходе обеспечить фильтрацию составляющих с частотами модуляции. Увеличение постоянной времени

фильтра приводит к ухудшению действия системы при быстрых изменениях уровня сигнала на входе приемника, а уменьшение постоянной времени - к снижению глубины модуляции и в результате к искажениям сигнала.

Наиболее широко распространена *регулировка усиления* электронных приборов путем изменения режимов питания по постоянному току. При выборе режима регулируемого биполярного транзистора минимальный коллекторный ток должен быть в 85-100 раз больше обратного коллекторного тока. Максимальный ток не должен превышать 2-3 мА, поскольку глубина регулирования при больших токах увеличивается не столь значительно из-за увеличения динамических проводимостей транзистора, что снижает усиление каскада. Кроме того, при чрезмерно больших токах растет требуемая мощность источника питания.

В профессиональных приемниках в состав радиочастотного тракта включают *управляемые аттенюаторы*, как правило, на основе рпн-диодов. Когда система АРУ не работает, коэффициент передачи аттенюатора составляет 0 дБ. При подаче управляющего напряжения АРУ коэффициент передачи аттенюатора уменьшается.

Элементы и системы АРУ входят в состав ИС серии 157, 174, 175, 235, 548, 1021 и др. На основе расчета параметров АРУ выбирают ИС для отдельных звеньев АРУ или системы АРУ в целом.

1.2.8. Выбор и расчет системы автоматической подстройки частоты

При выборе между частотной (ЧАП) и фазовой автоподстройкой (ФАП) следует учитывать, что система ЧАП всегда имеет пусть малую, но конечную остаточную расстройку по частоте, система ФАП имеет нулевую остаточную частотную расстройку и конечную остаточную разность фаз.

Задача проектирования системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) состоит в выборе и расчете параметров системы и входящих в ее состав УПЧ, детектора, ФНЧ и УПТ.

Исходными данными для расчета **системы ЧАП** являются максимальная начальная расстройка, допустимая остаточная расстройка, требуемое быстродействие системы АПЧ, номинальное значение промежуточной частоты и частоты гетеродина, тип гетеродина, нижняя частота модулирующего сигнала. В результате расчета необходимо определить коэффициент автоподстройки, требуемый раскрыв детекторной характеристики частотного детектора, выбрать тип ЧД, рассчитать его параметры, обосновать необходимость применения усилителя постоянного тока, определить параметры ФНЧ. В приемнике непрерывного ЧМ сигнала система ЧАП не должна отслеживать изменение частоты полезного сигнала. В противном случае возникает обратная связь по частотам модуляции, что уменьшает индекс модуляции и может привести к потере информации. Необходимо предусмотреть запас устойчивости системы АПЧ по усилению (6...10 дБ) и по фазе (30...40°).

При расчете **системы ФАП** в качестве исходных данных, кроме указанных для системы ЧАП, могут дополнительно задаваться время вхождения в синхронизм, амплитуды на входах фазового детектора и т. д.

В случае, если начальные расстройки очень велики и диапазона перестройки управляемого генератора недостаточно для захвата частоты, следует применить систему автоподстройки с поиском или комбинации систем частотной и фазовой автоподстройки частоты.

Используя результаты расчета, можно подобрать подходящие интегральные схемы для отдельных каскадов или системы АПЧ в целом. Элементы системы АПЧ имеют в своем составе, например ИС серии 174, 1005, 1021 и др.

1.2.9. Проектирование устройств управления, контроля, настройки и индикации

В результате проектирования тракта радиочастоты известен способ перекрытия заданного диапазона частот, элемент настройки, количество поддиапазонов. Необходимо выбрать устройство управления настройкой приемника. При **плавной настройке** конденсатором или ферровариометром используют визирную шкалу. При повышенных требованиях к точности установки частоты, например, в профессиональных связных приемниках, применяют визирную оптическую шкалу. При **дискретной настройке**, использовании цифровых синтезаторов частот удобен цифровой отсчет частоты или номера канала.

При *цифровом отсчете* следует выбрать схему устройства установки, контроля и индикации частоты или номера канала, рассчитать число разрядов цифрового индикатора, выбрать его тип по потребляемой мощности, габаритным размерам, массе, температурному диапазону. Необходимо учесть, что при температуре ниже минус 15 °С экономичные жидкокристаллические индикаторы не работоспособны. По этой причине они не применяются в аппаратуре, работающей на открытом воздухе, например, в носимых приемниках сухопутной подвижной радиосвязи.

Ручной регулятор громкости обычно совмещают с ручкой включения приемника. Необходимо выбрать место включения этого регулятора - после детектора или в одном из каскадов последетекторного тракта, а также соответствующий элемент регулировки (потенциометр, сенсорное устройство).

Необходимо выбрать тип **ручной регулировки полосы пропускания** - в УПЧ и УЗЧ, плавный или дискретный характер регулировки, предусмотреть соответствующие ручки, кнопки, индикаторы.

Кроме упомянутых, в приемнике должна присутствовать *индикация*

включения питания, в носимых аппаратах - индикация разряда батарей, индикатор рабочих и аварийных режимов и т.д. Выбор количества и параметров индикаторов зависит от степени сложности приемника, условий эксплуатации, требований к стабильности параметров и характеристик.

В современных приемниках широко применяется запоминание частот радиостанций, автоматический поиск радиостанций, автоматическая настройка приемника на станцию, дистанционное управление, микропроцессорное управление и т. д.

Соответствующие устройства можно реализовать по имеющейся элементной базе. Например, ИС КБ1508ХЛ1 содержит устройство управления частотой в синтезаторе частот с ФАПЧ, устройство автопоиска и память на 14 станций.

При проектировании устройств управления, контроля, настройки и индикации следует выбрать схему устройства, предусмотреть сопряжения блока управления и радиочастотной части, продумать конструктивную реализацию принятых схемотехнических решений. Более подробно вопросы проектирования устройств управления, контроля, настройки и индикации РПУ обсуждены в специальной литературе [5,25, 26].

1.2.10. Выбор источника питания и громкоговорителя

Значения напряжений питания радиоприемника следует выбирать из ряда 3, 6, 9, 12, 18, 24, 27, 30, 36, 48 В. При питании носимой аппаратуры от гальванических батарей и **аккумуляторов** величина напряжения питания выбирается в соответствии с паспортными значениями ЭДС, а при расчетах учитывается снижение их ЭДС в процессе эксплуатации. Следует стремиться к минимально возможному числу источников питания. Большинство носимой аппаратуры имеет один источник питания - аккумулятор.

При **питании от сети** необходимо обеспечить хорошую фильтрацию пульсаций напряжения в сетевом выпрямителе. При недостаточной фильтрации пульсаций сетевого напряжения в приемнике может возникнуть помеха, проявляющаяся в виде фона и искажений принимаемого сигнала, заметных на слух. Для предотвращения таких явлений используют следующие меры:

1) заземление экранной обмотки, расположенной между первичной и вторичной обмотками сетевого трансформатора;

2) шунтирование вторичной обмотки конденсатором емкостью от 0,01 до 0,1 мкФ;

3) подключение параллельно каждому диоду диодного моста конденсаторов емкостью от 0,01 до 0,1 мкФ.

Для **стабилизации напряжения питания** применяются интегральные схемы, например, К142ЕН, К1009ЕН и стабилитроны. Особое внимание следует уделить стабилизации питания гетеродинов и варикапов, используемых для настройки. Хорошим решением является включение в

цепь питания каждого гетеродина и варикапа отдельного стабилизатора. Питание на отдельные каскады и ИС подается, как правило, через развязывающие RC цепочки.

Кроме выбора принципиальной схемы источника питания необходимо разработать требования к нему по потребляемым токам, стабильности, допустимым пульсациям напряжения и т.д. по методикам [27].

Громкоговоритель РПрУ следует выбирать исходя из требуемых электрических характеристик, условий эксплуатации, ограничений по массе и габаритам. Стандартизованный ряд значений максимальной шумовой мощности для головок громкоговорителей - 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 50; 75; 100 Вт. Номинальное электрическое сопротивление выбирают из ряда 4, 8, 16, 25 и 50 Ом.

1.2.11. Расчет каскадов

Перед полным электрическим расчетом необходимо выбрать по справочникам транзисторы, диоды, варикапы, интегральные схемы, использование которых позволит обеспечить выполнение требований технического задания.

Если подобрано несколько активных элементов или ИС с близкими параметрами, надо остановить свой выбор на менее шумящих и более высокочастотных элементах для профессиональной и высококачественной бытовой аппаратуры. Для использования в носимой аппаратуре надо выбирать ИС высокой степени интеграции и с малым током потребления. В любом случае следует стремиться к удешевлению проектируемого устройства.

Расчетная часть состоит из отдельных параграфов, в которых приводится расчет каскадов. Исходными данными для расчета являются требования технического задания и результаты расчета структурной схемы.

Расчет каждого каскада содержит:

- принципиальную и эквивалентную (если необходимо) схему каскада;
- характеристики активных элементов и ИС, необходимые для графических и графоаналитических расчетов, с требуемыми построениями;
- исходные данные для расчета;
- принятые приближения, ограничения и условия;
- задачу расчета с указанием величин и параметров, которые необходимо рассчитать;
- инженерный расчет каскада, сопровождаемый краткими текстовыми пояснениями;
- заключение, в котором подводятся итоги расчета и выделяются те результаты, которые будут использованы в дальнейших расчетах.

В случае применения нескольких идентичных каскадов (например, переключаемых диапазонных фильтров ВЦ) подробный расчет приводится только для одного каскада. Для остальных аналогичных каскадов даются результаты расчета, как правило, в табличной форме и расчет тех цепей,

которые имеют какие-либо отличия.

Исходные данные для расчетов могут быть представлены не в абсолютных, а относительных единицах - децибелах. Следует внимательно подходить к подстановке соответствующих значений в расчетные формулы. При необходимости надо перевести значения величин из относительных в абсолютные (в разы) или наоборот. Формулы, связывающие абсолютные и относительные значения, приведены в приложении Б.

Все расчеты должны выполняться инженерными методами. При этом следует учитывать, что в инженерных расчетах используются не точные, а приближенные значения. Дискретные элементы, транзисторы, ИС имеют разброс параметров, определяемый техническими условиями и стандартами. Кроме того, в расчетах используются различные распределенные параметры (монтажные емкости, индуктивности выводов, эквивалентные параметры кабелей, разъемов и т.д.), величины которых могут быть определены довольно приблизительно. Вследствие этого недопустимо вести расчеты с точностью, превышающей точность исходных значений. Количество значащих цифр в результате должно быть не более количества значащих цифр в операндах рассчитываемого выражения. Избыточное число значащих цифр в результатах вычислений может создать ложное представление о действительной точности полученной величины.

Пример 1. В результате расчета получена величина максимально допустимой емкости входной цепи:

$$C_{сх} = (C_{Кмакс} - k_{пд}^2 C_{Кмин}) / (k_{пд}^2 - 1),$$
$$C_{сх} = (220 \cdot 10^{-12} - 3,36^2 \cdot 4 \cdot 10^{-12}) / (3,36^2 - 1) = 16,992069 \cdot 10^{-12} \approx 17,0 \text{ пФ}$$

Не следует в этом случае записывать число 16,992069, его необходимо округлить до ближайшего с меньшим числом значащих цифр по правилу А.Н. Крылова. В примере подразумевается, что $C_{Кмин} = 4,00 \cdot 10^{-12}$ имеет столько же значащих цифр, что и $C_{Кмакс}$.

Допуски на радиоэлементы следует выбирать с учетом места их установки и влияния на основные параметры каскада, учитывая при этом зависимость стоимости элементов от допусков на них.

Пример 2. При расчете сопротивления резистора получено $R = 2,1 \text{ кОм}$. После расчета необходимо выбрать ближайшее значение сопротивления из номинального ряда для резисторов по ГОСТ 2825-67. При выборе ряда E24 с допуском $\pm 5 \%$ ближайшими номиналами являются 2,0 и 2,2 кОм. Выбирают тот из них, при котором лучше обеспечены заданные параметры каскада. При выборе значений емкостей конденсаторов используют ряды по ГОСТ 2519-67.

Весь дальнейший расчет ведется с учетом выбранного, а не рассчитанного значения сопротивления резистора или емкости конденсатора. При расчете катушек индуктивности необходимо проверять

возможность их физической реализуемости на рабочей частоте.

В перечень элементов электрической принципиальной схемы при выполнении учебного проекта включают только выбранные и рассчитанные компоненты. Пример выполнения перечня элементов приведен в приложении В.

В результате расчетов для каждого каскада должен быть определен режим работы активных элементов, входные и выходные параметры каскадов (сопротивления, напряжения, мощности), коэффициенты передачи, шума, избирательности и т.п., величины всех радиоэлементов принципиальной схемы. Примеры расчета каскадов РПрУ различного назначения приведены в литературе [4-7, 17, 23, 24, 26]. Приложение Г содержит отсутствующий в учебной литературе пример расчета пейджерного приемника.

1.3. Разработка мероприятий по настройке и налаживанию радиоприемника

Вследствие технологического разброса параметров элементов характеристики и параметры отдельных каскадов и всего устройства в целом могут отличаться от рассчитанных. Для их приведения в соответствие с требуемыми осуществляется предварительная предэксплуатационная настройка аппарата.

При проектировании в колебательные контуры следует включить подстроенные конденсаторы, предусмотреть подстройку катушек индуктивности с помощью сердечника из феррита или латуни, использовать **подстроечные** резисторы для установки начального смещения на электродах активных элементов.

В схеме необходимо также предусмотреть **контрольные точки**. Они используются при проверке режимов по постоянному току активных элементов и позволяют контролировать происхождение сигнала по тракту. Контрольные точки обычно организуются таким образом, чтобы при налаживании приемника можно было измерить постоянное напряжение на базе и на коллекторе транзистора; переменное напряжение на контуре, предшествующем смесителю; на контуре гетеродина или на гетеродинном входе смесителя; на контуре промежуточной частоты и т.д.

Контрольные точки следует изобразить на принципиальной схеме устройства и указать контролируемые параметры. В пояснительной записке надо обосновать выбор контрольных точек и элементов подстройки, предложить **структурную схему измерений** и разработать **методику** налаживания радиоприемника. Соответствующий раздел пояснительной записки содержит 2-5 листов.

Более подробно вопросы настройки и регулировки изложены в специальной литературе [4, 15, 16, 28].

1.4. Разработка конструкторской части проекта

В этой части проекта необходимо выполнить общую конструктивную разработку и компоновку каскадов радиоприемника, лицевой панели, компоновку заданного каскада, разработку печатной платы.

Конструкция разрабатывается с учетом особенностей радиоприемника и заданных или выбранных технических требований к массе, габаритам, экономичности и условиям эксплуатации. Сведения о конструкторской части проекта излагаются на 5-6 листах пояснительной записки. Конструкторская часть включает в себя также чертежи, эскизы и необходимые пояснительные рисунки. Разработка конструкторской части проекта и чертежи выполняются на основе стандартов, технических условий, нормалей и официальных проектно-конструкторских справочников [29].

При конструировании изделия, предназначенного для серийного производства, стремятся к максимальному использованию стандартных и унифицированных модулей, узлов и деталей и уменьшению количества типоразмеров и номиналов радиодеталей и элементов конструкции.

Современная аппаратура имеет следующие **конструктивные особенности**:

- Конструкция состоит из нескольких функциональных модулей, например, УКВ блока, платы УПЧ, усилителя звуковой частоты, модуля сенсорного переключения диапазонов. Устройства управления, питания, головки громкоговорителя выполняют в виде оригинальных устройств.

- Широко используются электронные регуляторы громкости и тембра, электронные шкалы настройки и цифровая индикация частоты настройки. Это позволяет применять вместо сложных механизмов настройки обычные потенциометры, а вместо точных механических шкал - электронные с цифровой индикацией, которые работают от синтезатора частоты.

- Сочетание в одном устройстве каскадов с высокой чувствительностью (УРЧ, смесители) и цифровых устройств требует тщательной проработки компоновочных схем и введения специальных экранов.

- Тесное расположение большого числа элементов требует учета их тепловых режимов при эксплуатации и монтаже.

- Высокие требования к эстетическим и эргономическим показателям.

При компоновке элементов устройства необходимо проанализировать задачу в такой последовательности:

- 1) исходя из назначения приемника оценить ожидаемую сложность компоновки элементов;

- 2) продумать необходимость применения экранов и развязывающих фильтров между каскадами и предусмотреть место для их установки;

- 3) оценить особенности монтажа элементов и регулировки устройства как по частям, так и в целом, обеспечивающих нормальную эксплуатацию устройства;

- 4) предусмотреть все механические крепления и места под винты, гайки, заклепки и т.д.;

- 5) выполнить эскиз компоновки блоков и узлов устройства с органами управления, настройки и индикации.

Результатом такого анализа является несколько эскизных вариантов компоновки элементов и конструкции в целом, которые позволяют наметить пути рационального конструирования.

При компоновке необходимо продумать, целесообразно ли выполнить устройство на одной печатной плате или разделить его на блоки, функциональные части, функциональные группы. Например, стационарный радиовещательный приемник может состоять из следующих

функциональных частей: настроечный блок, УПЧ с цепью АРУ, детекторы, УЗЧ, блок питания. Высокочастотные части и УЗЧ переносных радиовещательных приемников и приемников для охоты на «лисы» обычно komponуют вместе.

При компоновке приемника в целом следует:

1) выбрать материал и конструкцию корпуса, шасси, лицевой панели, печатных плат, определить габариты и т.д. Носимые радиостанции, например, имеют корпус из ударопрочного пластика, литой цельной алюминиевый каркас. Возимые аппараты выполняются на литом алюминиевом шасси, а их передняя панель со скругленными углами - из ударопрочного пластика;

2) разместить основные узлы в объеме корпуса и на шасси. За счет рационального взаимного размещения деталей, узлов и токонесущих проводников, применения экранирования и других мер предусмотреть защиту от возникновения паразитных электрических и магнитных связей между отдельными элементами конструкции и от связей по общим цепям питания;

3) разместить органы управления, настройки и индикации;

4) выбрать и обосновать способ выполнения электрического монтажа. При выборе вида монтажа следует учитывать, что печатный монтаж обеспечивает малый объем конструкции, жесткую фиксацию мест соединения, гарантирует хорошую повторяемость параметров и высокое качество работы устройства. Печатный монтаж можно использовать в любых устройствах. Проволочный жгутовой объемный монтаж применяют для межблочных соединений и в блоках питания;

5) продумать необходимость охлаждения мощного усилителя звуковых частот;

6) предусмотреть специальные меры, направленные на удовлетворение заданных конструктивных параметров устройства (повышенная вибрация, влажность, перепад температуры, давления, химически агрессивная среда и т.д.);

7) предусмотреть в конструкции особенности эксплуатации изделия (удобство его переноски, установки при эксплуатации, различимость шкал и т.д.).

Компоновку отдельных элементов радиоаппаратуры, ее частей и блоков рекомендуется выполнять в такой последовательности:

1) выбрать и обосновать способ выполнения узла, печатной платы;

2) тщательно проанализировать ту часть принципиальной схемы, которая войдет в разрабатываемую конструкцию. При этом обратить внимание на величины токов и напряжений, действующих в цепях узла;

3) выбрать типы радиодеталей по климатическим и эксплуатационным характеристикам. Например, резисторы по допустимой мощности рассеяния, индикаторы - по потребляемой мощности и рабочему диапазону температур;

4) перерисовать принципиальную схему устройства (блока, функциональной части, функциональной группы) с учетом рациональной

компоновки;

5) сгруппировать пассивные элементы вокруг соответствующих активных элементов с учетом их конструктивных особенностей;

6) составить окончательный вариант принципиальной схемы для компоновки;

7) определить место данного узла в общей конструкции радиоприемника;

8) выбрать способ механического и электрического соединения данного узла с другими элементами конструкции.

При компоновке следует использовать не геометрические модели элементов, а их модели в виде установочных объемов или площадей. Следует стремиться к максимально допустимому увеличению плотности монтажа и рациональному использованию площади печатной платы. При конструировании следует учитывать требования обеспечения внутрисистемной электромагнитной совместимости [29, 30].

При конструировании корпуса аппаратуры и лицевой и задней панелей следует придерживаться правил рациональной внешней компоновки.

- Органы управления (переключатели, ручки настройки и регулировки) и связанные с ними индикаторы (например шкалы) должны иметь такое относительное расположение, чтобы при управлении устройством руки оператора не загораживали индикаторы. Например, ручку настройки радиоприемника располагают, как правило, правее шкалы или под ней.

- Наиболее рациональные конструкции шкал - круглые и линейные горизонтальные. Более точен цифровой отсчет частоты.

- Вращение ручек управления должно соответствовать направлению движения стрелки прибора или указателя настройки.

- «Нуль» шкалы должен быть слева или внизу, увеличение показаний на шкале должно происходить по часовой стрелке или слева направо.

- Для разных операций управления (включение, настройка, переключение и т.п.) желательно использовать разные по характеру движения регуляторы.

- Для устройств точной настройки следует применять ручки диаметром 40...80 мм, для вспомогательных настроек - не менее 10 мм.

2. Методические вопросы учебного проектирования радиоприемников

2.1. Цель, задачи и содержание учебного проектирования

Целью учебного курсового и дипломного проектирования является приобретение студентами навыков инженерного мышления в процессе разработки отдельных блоков, устройств и радиоприемного устройства в целом.

Выполнение курсового проекта включает в себя следующие задачи:

- закрепить и углубить знания, полученные во время обучения на лекциях и лабораторных работах;
- применить знания для комплексного решения задачи разработки структурной и принципиальной схем радиоприемника;
- подготовить к решению более сложной задачи - выполнению дипломного проекта.

содержанием проекта может быть разработка радиоприемников различного назначения (связных, радиовещательных, радиолокационных, измерительных и др.) и разных диапазонов частот (от ВЧ до СВЧ); теоретическое и (или) экспериментальное исследование характеристик РПрУ или его отдельных функционально законченных узлов. В зависимости от глубины рассмотрения отдельных вопросов курсовой проект может быть расчетно-теоретическим, расчетно-исследовательским, расчетно-экспериментальным.

При курсовом и дипломном проектировании необходимо провести анализ технического задания, предложив варианты реализации заданных параметров радиоприемника. Полезно провести сравнительный анализ приемников-прототипов. Затем следует выбрать и обосновать структурную схему РПрУ, провести его эскизный расчет, разработать технические требования к основным узлам приемника, выбрать активные элементы, интегральные схемы, фильтры; выбрать и обосновать принципиальную схему всего приемника, рассчитать три каскада РПрУ, по результатам расчета выбрать электрорадиоэлементы. Необходимо также выбрать схему источника питания радиоприемника, разработать требования к его параметрам. При выполнении проекта надо предусмотреть возможность настройки и регулировки приемника, разработать мероприятия по налаживанию. В конструкторской части проекта необходимо выполнить компоновку каскадов, разработать лицевую панель и печатную плату приемника, разработать и оформить соответствующую конструкторскую документацию.

Результаты проектирования представляются в расчетно-пояснительной записке, на принципиальной электрической схеме и конструкторских чертежах.

Кроме проектов, рассматривающих техническую реализацию РПрУ, возможны проекты по моделированию отдельных узлов и РПрУ в целом. При выполнении проектов такого типа необходимо изучить проблему и используемый математический аппарат, выбрать систему схемотехнического моделирования или разработать собственную программу, с их помощью провести необходимые расчеты.

В пояснительной записке к такому проекту следует кратко описать проблему, решаемые в проекте задачи, изложить математическую теорию, цели исследования, обосновать выбор системы схемотехнического моделирования (проектирования) или необходимость разработки

оригинальной программы, указать особенности разработанной программы, привести результаты моделирования, распечатки программ с комментариями, обсудить полученные результаты.

2.2. Задание на проектирование

В задании указывается назначение радиоприемника, тип аппаратуры, к которому он относится (возимая, носимая, стационарная) и другие общие требования (условия работы, габариты, масса и т.д.) и основные электрические требования:

- 1) диапазон частот, количество каналов;
- 2) нестабильность несущей частоты принимаемых сигналов;
- 3) динамический диапазон принимаемых сигналов;
- 4) вид модуляции, индекс модуляции, девиация, диапазон модулирующих частот;
- 5) чувствительность при заданном отношении сигнал/шум на выходе;
- 6) степень ослабления побочных каналов;
- 7) степень ослабления соседнего канала при заданной расстройке соседнего канала;
- 8) тип и (или) параметры оконечного устройства (сопротивление, требуемое выходное напряжение или мощность);
- 9) допустимые уровни линейных и нелинейных искажений;
- 10) допустимое изменение выходного напряжения;
- 11) параметры антенны и линии передачи (тип антенны, волновое сопротивление фидера, длина фидера);
- 12) тип и параметры источника питания.

Варианты заданий на проектирование приведены в приложении Д.

Задание, как правило, не содержит всех значений параметров радиоприемника, необходимых для проектирования. Все недостающие требования, необходимые для выполнения задания, следует выбрать или рассчитать в процессе проектирования.

Задание на учебный проект оформляется на типовом бланке, принятом в институте, подписывается руководителем проектирования, студентом и утверждается заведующим кафедрой.

2.3. Работа над проектом

Для успешного выполнения проекта большое значение имеет рациональная организация работы над ним, разумное распределение времени и высокая дисциплина выполнения отдельных этапов работы в назначенные контрольные сроки.

Работу над проектом рекомендуется начинать с внимательного изучения задания. При этом следует обратить внимание не только на электрические характеристики приемника, но и на его назначение и условия эксплуатации.

Важное значение имеет выбор литературы для работы над проектом. Указанный преподавателем и приведенные в учебном пособии • списки не являются исчерпывающими, поэтому студент должен составить дополнительный список литературы, необходимый для выполнения проекта (книги, пособия, статьи в научно-технических журналах, справочники, стандарты, каталоги, рекламные листки и т.д.). После изучения литературы следует провести анализ технического задания, обоснованно выбрать и рассчитать структурную и принципиальную схему, предъявить требования к источнику питания, разработать меры по настройке и налаживанию устройства, а также конструкторскую часть проекта.

Законченные пояснительная записка и чертежи подписываются студентом и сдаются преподавателю на проверку. После проверки записки и чертежей руководитель пишет свое решение о допуске к защите или направлении на доработку (переработку).

Защита проекта заключается в коротком (8-10 мин) докладе по существу проекта и в ответах на вопросы комиссии. В докладе в сжатом и четком виде должны быть отражены следующие вопросы: назначение радиоприемника, обоснование актуальности выполненного проекта, краткий анализ технического задания и исходные данные для проектирования, методика решения поставленных задач, принципы функционирования разработанного устройства, возможные варианты решений и их сравнительный анализ, особенности принятых схмотехнических и конструкторских решений, выводы о качестве выполнения требований технического задания, пути повышения качества спроектированного радиоприемника.

При ответах на вопросы необходимо дать все объяснения по существу проекта и хорошо ориентироваться в любых теоретических положениях по теме проекта.

2.4. Содержание и оформление расчетно-пояснительной записки и чертежей

По всем основным разделам проекта составляется краткий пояснительный текст, работа над которым, как правило, проводится после обсуждения основных результатов проектирования с преподавателем.

Пояснительная записка и чертежи сдаются на проверку преподавателю в сроки, установленные кафедрой. Окончательное оформление записки проводится после исправлений, сделанных на основании замечаний преподавателя. Если при исправлении необходима замена одного или нескольких листов пояснительной записки, то заменяемые листы с замечаниями не выбрасываются, а подшиваются в конце пояснительной записки. Стирать, заклеивать, закрашивать замечания преподавателя запрещено.

Записка должна излагаться простым, ясным, технически грамотным языком на листах бумаги формата А4 (210x297 мм). На каждом листе должна быть рамка по ГОСТ 2.104-68, отстоящая от левого края листа на 20

мм, от верхнего, нижнего и правого - на 5 мм. Выполнение основных надписей по ГОСТ 2.104-68 является обязательным.

2.4.1. Содержание пояснительной записки

Пояснительная записка к проекту должна содержать:

- титульный лист;
- аннотацию;
- задание;
- содержание;
- введение;
- анализ технического задания;
- выбор, обоснование и расчет структурной схемы;
- выбор и обоснование принципиальной схемы;
- расчет принципиальной схемы 3-х каскадов тракта радиочастоты;
- разработку требований к источнику питания радиоприемника;
- разработку мероприятий по настройке и налаживанию радиоприемника;
- разработку конструкции РПрУ, печатной платы;
- заключение;
- список литературы;
- приложения.

Титульный лист заполняется на стандартном бланке, принятом в институте.

В **аннотации** приводится краткое изложение содержания проекта. Слово «аннотация» не пишется. В тексте аннотации не употребляются слова «в настоящем курсовом проекте» и т.п.

Содержание включает номера и наименования разделов, подразделов, обозначения и наименования приложений и номера листов (страниц), на которых они расположены. Слово «Содержание» записывают по центру с прописной буквы.

Разделы должны начинаться с нового листа (страницы) и иметь порядковые номера, обозначаемые арабскими цифрами без точки. Первый номер имеет раздел «Анализ технического задания», последний номер - раздел, предшествующий заключению. Разделы могут иметь подразделы, номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенных точкой.

Во **введении** кратко излагается современное состояние техники радиоприема, особенности разрабатываемого радиоприемника, обосновывается актуальность разработки. Не допускается приводить общеизвестные определения и пространственные исторические обзоры.

Анализ технического задания не должен быть простым перечислением основных качественных показателей радиоприемника. В этом разделе необходимо провести сравнительную оценку заданных технических условий, наметить пути их реализации, определить дополнительные требования и

качественные показатели, которые не указываются в задании, но необходимы для выполнения проекта, например тип антенны, волновое сопротивление фидера, способ перекрытия диапазона, климатические и механические условия эксплуатации радиоприемника. При этом необходимо пользоваться стандартами, техническими условиями и другой официальной документацией.

В разделах, посвященных выбору и расчету структурной и принципиальной схем приводят обоснование выбора, расчеты и окончательные варианты схем. Раздел "Выбор, обоснование и расчет структурной схемы" рекомендуется разбить на пункты, соответствующие этапам расчета: "Расчет полосы пропускания", "Выбор и расчет средств обеспечения избирательности" и т.д.

В разделе, посвященном выбору и расчету тракта радиочастоты, приводятся подробные электрические принципиальные схемы отдельных каскадов и их расчет, на основе расчетов проводится выбор элементов.

В разделе «Разработка мероприятий по настройке и налаживанию радиоприемника» приводится краткое обоснование выбора тех или иных регулировочных элементов и контрольных точек. Следует также кратко изложить методику наладки радиоприемника с использованием выбранных контрольных точек. Необходимо привести структурную схему измерений и список приборов, необходимых для первоначальной настройки приемника. Объем этого раздела составляет 2-4 страницы пояснительной записки.

Раздел «Разработка конструкции» должен содержать описание конструкции радиоприемника или отдельного функционального конструктивно законченного каскада, блока, узла; описание печатной платы, способа ее изготовления, сборки, пайки, проверки. В разделе кратко приводится обоснование выбора материалов, защитных покрытий, способа герметизации, амортизации и т.п.

Заключение должно подводить итог выполненной работы. В нем следует кратко проанализировать полученные результаты, привести полученные характеристики и параметры, сравнить их с заданными, сделать вывод о выполнении требований технического задания, наметить пути дальнейшего усовершенствования.

Предлагаемые доработки должны быть направлены на упрощение, удешевление, повышение надежности радиоприемника и (или) расширение набора сервисных функций при сохранении достигнутых технических параметров. Эти предложения не являются основанием для переработки проекта, а служат развитию умения разработчика посмотреть на свое изделие «сверху», с общих позиций, оценить правильность и обоснованность принятых решений. Заключение является кратким, но важным разделом, показывающим глубину знаний проектанта и его критичность к своим решениям.

Список литературы составляется по правилам библиографического описания ГОСТ 7.1-84. В список включаются все источники, которыми студент пользовался при выполнении проекта. На каждый источник в тексте пояснительной записки должна быть ссылка в конце использованного

материала. Ссылка дается в квадратных скобках. Литературные источники в списке указываются в порядке их использования в тексте.

В приложения выносят вспомогательные иллюстративные материалы, таблицы, перечень элементов к электрической принципиальной схеме, спецификации к сборочным чертежам.

Первой страницей пояснительной записки считается титульный лист, второй - аннотация, третьей — задание. На них номер страницы не проставляется. Первым нумеруемым листом является четвертый лист-«Содержание».

Законченная пояснительная записка должна быть сброшюрована или подшита в папку таким образом, чтобы исключить случайное выпадение отдельных листов. Графический материал (схема электрическая принципиальная, конструкторские чертежи) целесообразно подшить к пояснительной записке. Общий объем составляет 30-60 страниц формата А4 и 2-4 чертежа А1.

2.4.2. Оформление пояснительной записки

При оформлении пояснительной записки (ПЗ) следует выполнять требования ГОСТ 2.105-95 и СТП 02068054-0102-99. Общее оформление записки должно быть аккуратным, без исправлений, зачеркиваний и помарок.

Текст пояснительной записки следует разделить на разделы и подразделы. Разделы нумеруются в пределах всего документа арабскими цифрами без точки и записываются с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию внутри каждого раздела. Разделы и подразделы должны иметь четко сформулированные заголовки. Каждая строка заголовка раздела должна иметь по возможности законченный смысловой характер. Переносы слов в заголовках не допускаются. Точка в конце заголовка не ставится. Каждый раздел начинают с нового листа (новой страницы).

Изложение текста пояснительной записки должно быть кратким и четким, вестись в безличной форме. Применение личных местоимений не разрешается. В тексте должны **применяться научно-технические термины**, обозначения и определения, установленные стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе.

Если в документе приводятся поясняющие надписи, наносимые на изделие, их выделяют шрифтом без кавычек, например, ВКЛ., НАСТРОЙКА. Если надпись состоит из цифр и знаков, ее выделяют кавычками, например, «220 В, 50 Гц».

Допускается применять **стандартные сокращения слов** по ГОСТ 2.316. Неуказанные в стандарте, но необходимые при изложении текста сокращения вводятся после первого применения сокращаемого термина или сочетания слов в круглых скобках, например, «... радиоприемного устройства (РПрУ)». В последующем тексте можно использовать введенное сокращение. Перечень принятых сокращений включают в текст пояснительной записки лишь тогда,

когда принято более 5-7 сокращений.

Единицы физических величин должны быть единицами международной системы единиц (СИ) по ГОСТ 8.417.

При выполнении пояснительной записки на ЭВМ с помощью текстовых редакторов формулы выполняются средствами применяемого редактора. Правила написания формул ясны из примеров 3, 4.

Пример 3.

Резонансная частота контура, Гц

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L - индуктивность катушки,

C - емкость контура.

Пример 4.

Ток через резистор R_2

$$I_{R2} = U_{R2}/R_2, \quad (3.1)$$

$$I_{R2} = 8,25/(1,7 \cdot 10^3) = 4,85 \cdot 10^{-3} = 4,85 \text{ мА}.$$

При выполнении курсового проекта рекомендуется нумерация формул в пределах раздела.

В тексте пояснительной записки на все **приложения** обязательно должны быть даны ссылки. Приложения располагают в том порядке, в каком приводятся ссылки на них в основной части документа. Каждое приложение начинают с новой страницы. Все приложения должны быть перечислены в содержании с указанием их обозначений и заголовков.

Численные данные, помещаемые в записке, следует представлять в виде таблиц. **Таблицу** помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее. Таблицы нумеруются сквозной нумерацией или в пределах раздела. Цифры в графах таблицы должны проставляться так, чтобы разряды чисел по всей графе были расположены один под другим, если они относятся к одному показателю. Следует удерживать в числах одинаковое количество десятичных знаков.

При выполнении курсового проекта необходимо подготовить перечень элементов схемы электрической принципиальной, спецификацию сборочного чертежа. Пример оформления **текстового документа, разбитого на графы**, приведен в приложении В.

2.4.3. Графическая часть проекта

Графическая часть проекта включает в себя структурную и принципиальную схемы радиоприемника, конструкторские чертежи (сборочный чертеж радиоприемника или отдельного конструктивно законченного блока, чертеж печатной платы и ее сборочный чертеж, эскиз или чертеж лицевой панели и т.д.), а также принципиальные схемы отдельных каскадов и графики (характеристики АЗ, графические решения и т.д.), которые иллюстрируют текст пояснительной записки.

Количество *иллюстраций*, помещаемых в пояснительной записке, должно быть достаточным для того, чтобы придать изложенному тексту емкость и

конкретность. Все иллюстрации (графики, схемы, диаграммы, фотографии и т.д.) именуются рисунками.

Рисунки следует располагать по тексту возможно ближе к соответствующим частям текста. При выполнении курсового проекта рекомендуется нумерация иллюстраций в пределах раздела, например, «Рисунок 3.2 - Усилитель радиочастоты. Схема электрическая принципиальная». На схемах, приводимых в текстовых документах, около каждого элемента указывают его позиционное обозначение и, если необходимо, номинальное значение величины.

Графики должны быть четкими и наглядно иллюстрировать результаты расчетов или исследований. Необходимо рационально выбирать масштаб графика и максимально использовать поле страницы для размещения графика, его осей, обозначений на осях и т.д., рационально располагать кривые зависимостей на поле графика. Если на одном графике несколько кривых, для их размещения целесообразно применить различные графические обозначения: пунктир, штрих-пунктир, кружочки, треугольники и т.п.

Схемы должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД, ГОСТ 2.701 и ГОСТ 2.702 на чертежной бумаге формата А1. Структурную схему можно выполнить на листе меньшего формата. Перечень элементов к схеме электрической принципиальной помещается либо на одном листе со схемой, либо в виде отдельного документа на листах формата А4, подшиваемых к пояснительной записке в качестве приложения.

Все обозначения элементов и функциональных цепей приводятся в соответствии с ГОСТ 2.710. Графическое построение схемы должно давать наглядное представление о последовательности прохождения сигнала от входа к выходу. Направление прохождения должно быть слева направо и сверху вниз.

На структурной схеме рекомендуется помещать надписи, диаграммы и таблицы, указывающие параметры сигналов (частота, напряжение, ток, форма, амплитуда и длительность импульсов и т.п.) в отдельных точках схемы и характеристики основных функциональных блоков радиоприемника (коэффициент усиления, полоса пропускания, коэффициент шума, тип и количество каскадов, типы транзисторов, диодов, интегральных схем).

Позиционные обозначения элементов следует проставлять на схеме рядом с условными графическими изображениями элементов справа от них или сверху.

На схеме около условных графических обозначений элементов, назначение или использование которых при эксплуатации требует пояснения (переключатели, потенциометры, контрольные гнезда, предохранители и т.д.), должны быть помещены соответствующие надписи или условные обозначения. Надписи, предназначенные для нанесения на изделие, на схеме заключают в кавычки, например, «Настройка», «Сеть».

2.5 Перечень вопросов для самопроверки и самоподготовки к защите проекта

Структурная схема

1. Какие дополнительные требования и условия были выработаны при анализе технического задания и почему?
2. Какие варианты структурной схемы были предложены в процессе проектирования?
3. По каким причинам была выбрана схема окончательного варианта?
4. Каким образом можно ослабить слишком жесткое требование и как это отразится на остальных параметрах радиоприемника?
5. Как можно упростить схему, сохранив заданные функции и параметры?
6. Какие допуски установлены на параметры входных сигналов и чем они обеспечиваются?
7. Какие регулировки введены в устройство для управления его работой?
8. Каковы допустимые искажения сигнала, каким образом обеспечивается уровень искажений в заданных пределах?
9. Какие требования предъявляются к стабильности частоты гетеродина?
10. Каким образом можно удовлетворить противоречивые требования обеспечения высокой избирательности по зеркальному и соседним каналам?
11. Как обеспечены требования избирательности по соседним каналам приема?
12. Сравните достоинства и недостатки приемника прямого усиления и супергетеродинного приемника.
13. Каким образом обеспечено выполнение требований технического задания, в частности, чувствительности?
14. Какой способ перекрытия диапазона применен и почему?
15. С какой целью используется преобразование частоты?
16. Для чего применяется двойное преобразование частоты?
17. Какие характеристики приемника находятся в противоречивой взаимосвязи и почему?

Принципиальная схема

1. Какие факторы определили выбор данной схемы?
2. Какие пути упрощения этой схемы существуют?
3. Обеспечена ли максимальная простота схемы?
4. От каких параметров и каким образом зависит действующая высота приемных антенн различных конструкций?
5. Как действующая высота антенны влияет на параметры приема?
6. Как зависят емкость и индуктивность проволочной антенны от ее конструкции?
7. Объясните назначение каждого элемента в каскадах радиоприемника.
8. Как меняются параметры и характеристики входной цепи, УРЧ и преселектора в целом в пределах рабочего диапазона частот?
9. Какие методы повышения устойчивости усилителей высоких частот существуют? Какие из них применены в УРЧ и УПЧ?
10. В каких случаях и каким образом обеспечивается согласование ВЦ с

фидером?

11. Какими средствами достигнуто снижение коэффициента шума первых каскадов приемника?
12. Какие критерии применены при выборе транзисторов?
13. Будет ли устройство работоспособно при использовании других транзисторов? Если да, то как изменятся параметры радиоприемника?
14. Какие колебания и каких параметров активных элементов (транзисторов, диодов) допустимы?
15. Имеет ли коэффициент шума транзистора, диода допустимую величину?
16. Удовлетворяет ли требованиям технического задания коэффициент шума каскада на этом активном элементе?
17. Какие напряжения приложены к электродам транзистора? Каковы предельно допустимые напряжения?
18. Каким образом были удовлетворены требования стандартов при выборе параметров электрических компонентов?
19. Можно ли изменить схему таким образом, чтобы исключить применение нестандартизованных компонентов?
20. Обеспечены ли необходимые рабочие режимы отдельных компонентов?
21. Какие допуски на параметры элементов влияют на параметры и надежность работы устройства?
22. Резисторы какого ряда были выбраны для использования в устройстве?
23. Рассматривалась ли возможность замены подстроечных элементов постоянными? В каких случаях можно провести такую замену?
24. Какими должны быть допуски на параметры конденсаторов, чтобы обеспечивалась правильная работа устройства?
25. Использовались ли в блоках с высокой стабильностью слюдяные или керамические конденсаторы с температурной компенсацией или с низкими температурными коэффициентами?
26. Заблокированы ли оксидные конденсаторы на частотах более 100 кГц?
27. Применяется ли экранирование катушек индуктивности?
28. Каким образом возможна подстройка параметров контура при регулировке приемника?
29. Какие меры предусмотрены для сохранения настройки контуров в процессе эксплуатации?
32. Какие типы оконечных устройств используются в радиоприемниках различного назначения?
33. Какие характеристики оконечных устройств определяют параметры радиоприемников?
34. Какие параметры оконечного устройства определили выбор именно этого прибора для конкретного радиоприемника?
35. Сравните усилительные, шумовые и высокочастотные свойства различных схем включения транзисторов в усилительных каскадах.
36. Каковы причины генерации шумового напряжения в резисторе? Чем

определяется это напряжение?

37. С помощью каких параметров оценивают шумы приемной антенны?

38. Каковы причины шума транзистора? Чем он определяется?

39. Какие ИС предпочтительнее применять в первых каскадах приемника?

43. Какова связь между коэффициентами шума многокаскадного устройства и составляющих его каскадов? Как это используется при проектировании радиоприемников?

44. Какова зависимость чувствительности радиоприемника от параметров его элементов?

45. При каких условиях достигается максимальный коэффициент передачи одноконтурной входной цепи?

46. Как влияет рассогласование входной цепи на ее параметры?

47. При каких условиях можно достичь максимального коэффициента передачи входной цепи при заданной полосе пропускания?

48. Какие условия определяют выбор коэффициента связи контура с антенной?

49. В чем состоят особенности входной цепи разработанного приемника?

50. Как влияет выбор связи магнитной антенны со входом первого каскада на характер частотных зависимостей ее параметров?

51. Какими условиями определяется выбор параметров резисторов и конденсаторов, используемых в цепях питания транзистора УРЧ?

52. Как влияют на эквивалентные параметры колебательного контура коэффициенты включения? Как влияет изменение этих эквивалентных параметров на параметры всего приемника?

53. Как влияют коэффициенты включения на характеристики и параметры УРЧ?

54. Каковы преимущества и недостатки электронной настройки контуров?

55. Применяют ли в ВЦ и УРЧ диапазонных приемников многоконтурные избирательные системы? Почему?

56. Каковы причины возникновения обратных связей (ОС) в резонансных усилителях? Как эти ОС влияют на работу усилителя? Каким образом устраняется их вредное влияние?

57. При каких условиях можно получить минимальный коэффициент шума каскада?

58. Какие способы существуют для увеличения устойчивости УРЧ?

59. Каковы способы снижения коэффициента поддиапазона? Сравните их.

60. Для каких цепей и каким способом выравнивается коэффициент усиления поддиапазонов в многодиапазонном приемнике?

61. При каком условии целесообразно применять фильтр сосредоточенной избирательности в УПЧ?

62. Какой основной недостаток пьезокерамических ФСИ и каков способ его устранения?

63. Из каких соображений выбирается тип ФСИ?
64. Для каких целей служит гетеродин в преобразователе частоты?
65. Из каких соображений выбирается рабочая точка транзистора в смесителе, в гетеродине?
66. Почему шумы транзистора в преобразовательном режиме больше, чем в усилительном?
67. Как уменьшить вредное влияние шумов зеркального канала, шумов преобразования?
70. Из каких условий выбирают амплитуду напряжения гетеродина, подводимого к смесителю?
71. Какие каскады супергетеродинного приемника обеспечивают его избирательность по соседнему и зеркальному каналам?
72. Из каких условий выбирается промежуточная частота приемника? Какие технические противоречия при этом приходится разрешать?
73. Как стабильность частоты гетеродина влияет на параметры и характеристики приемника в целом?
74. Чем определяется необходимость сопряжения настроек колебательных контуров супергетеродинного приемника?
75. В каких случаях не нужно выполнять сопряжение настроек?
76. Для чего необходимо обеспечивать хорошую развязку между контуром частоты сигнала и контуром частоты гетеродина?
80. Каковы преимущества и недостатки верхней настройки частоты гетеродина?
81. Каковы критерии выбора параметров нагрузки диодного амплитудного детектора?
82. В чем преимущества и недостатки деления нагрузки амплитудного детектора на две части?
83. Каковы назначение и принципы работы синхронного детектора?
84. В чем состоит назначение корректирующего фильтра на выходе детектора частотномодулированного сигнала (ЧМС)?
85. Зачем применяется шумоподавител в приемниках ЧМС?
86. Какие основные методы ослабления импульсных и флуктуационных помех существуют? Какие из них применены при разработке приемника?
87. В чем сущность перекрестных и интерференционных помех и каковы пути их уменьшения?
88. Каковы преимущества и недостатки магнитных антенн, определяющие действие помех?
89. Каковы общие принципы ослабления помех?
92. В чем состоит явление блокирования и каковы меры его предотвращения?
93. Назовите меры борьбы с приемом помех на промежуточной частоте.
94. Какими способами можно менять коэффициент передачи додетекторного тракта приемника?
95. Какие способы регулировки коэффициента передачи наиболее

применимы для использования в системах АРУ, в системах ручной регулировки усиления?

96. В каких случаях следует применять АРУ?

97. Чем определяется число регулируемых каскадов?

98. Какие каскады не рекомендуется регулировать?

99. Сравните достоинства и недостатки различных систем АРУ.

100. Из каких соображений выбираются постоянные времени нагрузки амплитудного детектора сигнала и АД АРУ?

101. Каково назначение фильтра АРУ? Из каких условий выбираются его параметры?

102. Каковы критерии оценки качества работы системы АРУ?

103. От каких параметров зависит эффективность работы системы АРУ?

104. Каковы способы осуществления ручной регулировки усиления?

105. Каково назначение и принципы осуществления регуляторов полосы пропускания? Каковы преимущества и недостатки регулировки полосы пропускания до и после детектора?

106. Какие способы улучшения стабильности частоты гетеродина приемника существуют?

107. В каких случаях целесообразно применение частотной и фазовой автоподстройки частоты гетеродина (АПЧГ)?

108. Каким образом выбирается постоянная времени фильтра системы АПЧГ?

109. В чем проявляется самовозбуждение системы АПЧГ и как его предотвратить при проектировании РПрУ?

110. Каковы особенности элементов радиотракта телевизионного приемника?

111. Какие особенности присущи детектору АМС и видеоусилителю в телевизионном приемнике?

112. Какие допуски установлены на колебания питающего напряжения и как защищено устройство от этих колебаний?

113. Определена ли потребляемая мощность в условиях статического и динамического режимов?

114. Какой ток потребляет устройство в режиме приема, в режиме дежурного приема, в режиме передачи (при использовании радиоприемника в составе радиостанции, трансивера)?

115. Каким образом обеспечена развязка источников питания?

116. Как обеспечена развязка отдельных каскадов по цепям питания?

117. Каким образом осуществляется стабилизация напряжения питания гетеродина?

118. Какие каскады приемника требуют высокой стабильности напряжения питания?

119. Каковы условия выполнения соединительных цепей между смежными каскадами приемника?

120. Каковы особенности соединения двух смежных каскадов

высокочастотного тракта приемника?

121. Каковы особенности соединительных цепей между каскадами при регулировке их усиления системой АРУ?

122. Как осуществляется переключение поддиапазонов в разработанном приемнике?

123. По каким принципам с помощью принципиальной схемы можно определить назначение каскада? Сформулируйте их для каждого каскада приемника.

124. Как, пользуясь, принципиальной схемой приемника, можно определить основные характеристики каскадов?

125. Соответствует ли выбранный разъем параметрам входного и выходного сигналов (частота, напряжение) и общей конструкции изделия?

127. Достаточно ли разнесены высоковольтные цепи с большим уровнем пульсаций и низковольтные сигнальные цепи?

Настройка, налаживание и регулировка

1. В какой последовательности налаживают каскады радиоприемника? Какие приборы необходимы для этого?

2. Какие элементы предусмотрены в схеме, с помощью которых возможно налаживание устройства?

3. Какова методика настройки резонансного контура, измерения его полосы пропускания и коэффициента прямоугольности резонансной кривой?

4. По какой методике осуществляется сопряжение настроек контуров частоты сигнала и гетеродина?

5. По каким экспериментальным признакам можно судить об устойчивости избирательного каскада?

6. Из каких соображений выбираются параметры входного сигнала при налаживании отдельных каскадов?

7. Каким образом можно убедиться в работоспособности гетеродина?

8. По какой методике осуществляется подгонка частот диапазонного УРЧ?

9. Как наладить ВЦ? Как настроить фильтр промежуточной частоты?

10. Как в системе АРУ изменяется напряжение задержки, управляющее напряжением, коэффициент усиления по постоянному току?

11. Опишите методики измерения основных параметров и характеристик радиоприемника.

Внутренние помехи

1. Установлены ли развязывающие фильтры между каскадами для устранения паразитных связей?

2. Каким образом устраняется влияние гетеродина на другие каскады?

3. Заземлено ли шасси?

4. Какие меры по устранению и предотвращению паразитных связей приняты при конструировании аппаратуры?

5. Какие экраны и где предусмотрены?
6. Проведено ли размещение деталей на печатных платах с учетом возможных взаимных помех?

Конструкция

1. Какие варианты конструкции были рассмотрены?
2. Какие факторы определили выбор этой конструкции?
3. Каким образом удовлетворены требования технического задания?
4. Какие пути улучшения разработанной конструкции существуют?
5. Какие меры приняты для снижения излучения внутрь корпуса и наружу?
6. Что сделано для повышения ремонтпригодности изделия?
7. Обеспечивает ли монтаж деталей и узлов необходимые условия рассеивания тепла?
8. Обеспечена ли прочность крепления больших компонентов и узлов?
9. Как размещены точки крепления деталей, ограничена ли нагрузка в этих точках?
10. Как обеспечены крепление печатных плат и возможность их быстрой замены?
11. Сведена ли к минимуму возможность механического повреждения аппаратуры при ее установке и обслуживании?
12. Как предусмотрена возможность переноски аппарата?
13. Совмещено ли в конструкции условие малой массы с прочностью, надежностью и безопасностью эксплуатации?
14. Правильно ли подключены транзисторы и диоды, оксидные конденсаторы на печатной плате?
15. Применен ли ключ для предотвращения ошибочной установки печатной платы?
16. Возможны ли большие разности потенциалов между соседними контактами разъемов?
17. Предусмотрены ли технологические отверстия в печатной плате?
18. Соответствуют ли габариты печатных плат рекомендованному нормированному ряду?
19. Как осуществляется механическое и электрическое соединения печатной платы с конструкцией?
20. Какие ручные регулировки предусмотрены в схеме и конструкции?
21. Удобно ли для оператора, грамотно ли с эргономической точки зрения расположены шкалы, индикаторы, ручки, переключатели и т.п.?
22. Индикация каких настроек и аварийных режимов предусмотрена?

Заключение

Теория и техника радиоприема продолжают бурно развиваться, появляются новые малощумящие транзисторы, интегральные схемы. В новых разработках используют перспективную элементную базу, разрешенную к применению соответствующими министерствами и ведомствами.

Современная элементная база позволяет реализовать радиоприемник на одной-двух ИС. При выборе подобного технического решения при курсовом проектировании следует внимательно изучить документацию, проанализировать возможность применения конкретной ИС в заданных условиях, разобраться с тем, какие функциональные узлы РПрУ входят в состав применяемой ИС, каким образом они соединены и т.д. Следует рассчитать все навесные элементы ИС. В пояснительной записке необходимо привести все параметры и характеристики ИС и результаты расчета.

Изложенные в настоящем пособии рекомендации по проектированию РПрУ намечают лишь основные пути выполнения курсового проекта. При выполнении проекта обзорно-аналитического или экспериментально-исследовательского характера можно выбрать другие пути решения задач. В каждом случае вопрос о последовательности работы над проектом необходимо согласовывать с руководителем.

Библиографический список

1. Буга Н.Н. и др, Радиоприемные устройства / Н.Н.Буга, А.И.Фалько, Н.И.Чистяков; Под ред. Н.И.Чистякова. - М.: Радио и связь, 1986. - 320 с.
2. Побережский Е.С. Цифровые радиоприемные устройства. - М.: Радио и связь, 1987. - 184 с.
3. Радиоприемные устройства / Под ред. А.П.Жуковского. - М.: Высш. школа, 1989. - 342 с.
4. Бобров Н.В. Расчет радиоприемников. - М.: Радио и связь, 1981.— 240 с.
5. Горшелев В.Д. и др. Основы проектирования радиоприемников / В.Д.Горшелев, З.Г.Красноцветова, Б.Ф.Федорцов. - М.: Воениздат, 1971. -496 с.
6. Проектирование радиолокационных приемных устройств / Под ред. М.А.Соколова. - М.: Высш. школа, 1984. - 335 с.
7. Проектирование радиоприемных устройств / Под ред. А.П.Сиверса. - М.: Сов. радио, 1976.-488 с.
8. Радиоприемные устройства / В.Н.Банков, Л.Г.Барулин, М.И.Жодзишский и др.; Под ред. Л.Г.Барулина. - М.: Радио и связь, 1984. (Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на интегральных микросхемах). - 272 с.
9. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. - М.: Мобильные телесистемы, 1997. — 237 с.
10. Соловьев А.А., Смирнов СИ. Техническая энциклопедия пейджинговой связи. - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997. - 169 с.
11. Мамаев Н.С. Спутниковое телевизионное вещание. Приемные устройства. - М.: Радио и связь, Горячая линия-Телеком, 1999. - 152 с.
12. Спутниковая связь и вещание: Справочник / Под ред. Л.Я. Кантора. - М.: Радио и связь, 1997. - 521 с.
13. Алексеев Ю.П. Бытовая радиоприемная и звуковоспроизводящая аппаратура: Справочник. - М.: Радио и связь, 1994. - 204 с.

14. Головин О.В. Декаметровая радиосвязь.- М.: Радио и связь, 1990. -240 с.
15. Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений: ГОСТ 12252-86. - Введ. 01.01.86. - М., 1986. - 38 с.
16. Радиостанции с однополосной модуляцией сухопутной подвижной службы. Типы. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений: ГОСТ 22579-86. - Введ. 01.01.86. - М., 1986. - 36 с.
17. Любительская радиосвязь на КВ: Справочник / Б.Г.Степанов, Я.С.Лаповок, Г.Б.Ляпин. - М.: Радио и связь, 1991. - 120 с.
18. Цифровые радиоприемные системы: Справочник / Под ред. М.И.Жодзишского. - М.: Радио и связь, 1990. - 208 с.
19. Аналоговые интегральные схемы / А.Л.Булычев, В.И.Галкин, В.А.Прохоренко. - Минск: Беларусь, 1994. - 382 с.
20. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник. — М.: Радио и связь, 1994.-240 с.
21. Левин В.А., Малиновский В.Н., Романов С.К. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. - М.: Радио и связь, 1989. -232 с.
22. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи.- М.: Радио и связь, 1991. -264 с.
23. Шувалов В.В., Аксенов В.М., Кожемякин К.Г., Богуславский СВ. Кварцевые генераторы /7 Зарубежная радиоэлектроника (спец. выпуск). -1994.- №1.-94 с.
24. Кривицкий Б.Х., Салтыков Е.Н. Системы автоматической регулировки усиления. -- М.: Радио и связь, 1982. — 192 с.
25. Калихман С.Г., Шехтман Б.И. Цифровая схемотехника в радиовещательных приемниках. - М.: Радио и связь, 1982. - 104 с.
26. Головин О.В. Системы автоматической настройки радиоприемных устройств магистральной связи. - М.: Связь, 1980. - 96 с.
27. Устройства электропитания бытовой РЭА: Справочник /И.Н.Сидоров, М.Ф.Биннатов, Е.А.Васильев. - М.: Радио и связь, 1991. -472 с.
28. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы электрических высокочастотных измерений: ГОСТ 9783-88. - Введ. 01.01.88. - М., 1988. - 120 с.
29. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. - М.: Высш. школа, 1990. - 432 с.
30. Барнс Дж. Электронное конструирование: Методы борьбы с помехами. - М.: Мир, 1990. - 238 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А (справочное)

Параметры фильтров

В марке фильтра цифры и буквы имеют следующие значения:

ФП - фильтр пьезоэлектрический; ЭМФП - электромеханический фильтр полосовой.

Цифра указывает группу фильтра по материалу пьезоэлемента:

1- пьезокерамические;

2- кварцевые;

3- пьезокристаллические.

Буква - подгруппу фильтров по функциональному назначению: П - полосовые, Р - режекторные, Д - дискриминаторные, О - одной боковой полосы.

Например, ФПЗП9 - 451 - фильтр пьезоэлектрический, пьезокристаллический, полосовой, интегральный, регистрационный номер разработки (тип) 451; ФП1Р8-62 - фильтр пьезоэлектрический, пьезокерамический, режекторный, монолитный, регистрационный номер разработки (тип) 62.

Таблица А.1 - Параметры кварцевых фильтров, широко используемых в РПрУ сухопутной

Наименование фильтра	Тип фильтра	Электрические характеристики				
		Номинальная частота, МГц	Полоса пропускания по уровню 6 дБ, кГц	Затухание в полосе пропускания, дБ	Затухание при расстройке, кГц / дБ	Объем, см ³
Сокол	ФП2П-307	9,5-11,5	18	6	±25/80	8
Мак-3	ФП2П-325	10,7-10,875	15	6	±24/80	24
Ветер	ФП2П-357	10,7	18	6	±25/38	4
	ФП2П6-378-1	10,7	15±1		±22/40	19,5x14,5x7,5 мм
Молния	ФП2П-436	10,7	15	5±1,7	±23/90	9
Примечание - Гарантированное относительное затухание фильтра ФП2П6-378-1 в полосе задерживания 60 дБ.						

Таблица А.2 -Параметры монолитных фильтров

Тип фильтра								
ФП2П4-486	ФП2П4-486-03	ФП2П-486-09	ФП-478QK	F 1243	ФП-500-1QK	FTF 107	ФП-500QK	FTF 117
Материал резонатора								
Кварц, основная гармоника			Лангасит $(La_2Ga_2SiO_{14})$					
Номинальная частота, кГц								
34338	68736	150000	5340	5350	10700	10700	18500	18050
Полоса пропускания по уровню затухания 3 дБ, кГц, не менее								
±50	±70	±75	±22	±7,5	+25	±22	±50	±60
Неравномерность затухания в полосе пропускания, дБ, не более								
1,0	1,0	1,0	1,5	0,5	2,0	1,0	2,0	2,0
Полоса пропускания, кГц								
±250	±350	±375	35	65	65	60	125	160
по уровню затухания, дБ								
20	20	20	80	75	80	60	80	60
Гарантированное затухание, дБ								
30	25	20	нет данных					
Вносимое, затухание, дБ, не более								
10	10	10	нет данных					
Диапазон рабочих температур, °C								
-60... +85	-60... +85	-60...+85	-60...+85	-20...+85	-60...+85	-40...+85	-60...+85	нет данных
Габаритные размеры корпуса, мм								
12,0x12,0x4,7	12,0x12,0x4,7	12,0x12,0x4,7	1,0x23,0x53,0	17,5x26,5x60,0	5,0x14,0x19,0	19,0x26,7x36,0	5,0x14,0x19,0	11,0x26,7x60,0

Таблица А.3 - Параметры фильтров

Тип фильтра	Номинальная частота, МГц	Полоса пропускания		Неравномерность затухания в полосе, дБ	Коэффициент прямоугольности		Полоса задерживания		Гарантированное затухание в полосе задерживания, дБ	Диапазон рабочих температур, °С	Нагрузки R, кОм / С, пФ	Габаритные размеры, мм
		кГц	по уровню, дБ			по уровням а2/а1	кГц	по уровню, дБ				
ФПЗП6-1.9-18	1,992	17,6	3	1	2,5	15/3	44	15	40	-40 - +70	10/5	30,0x9,0x5,0
ФП2П6-5,5	5,5	2	3						80			
ФПЗП6-25-100	25	100	3	1	4	20/3	400	20	40	-40 - +70	1,8/1,2	12,0x12,0x4,2
ФП2П6-28	25	35,0	3	0,5	4	20/3	140	20	40	-60 - +85	1,8/1,2 мкГн	13,5x11,5x5,0
ФП2П4-032-001-	18,0-	7,5	3	10	6	20/3	+95	50	50	-60 - +85	0,56/ 10	13,5x10,6x4,3
ФП2П4-032-010	18,9	7,5	3	10	6		+95	50	50	-60 - +85	0,56/10	13,5x10,6x4,3
(10 номиналов через 0,1 МГц)												
ФП2П6-42	5	4,5	3	0,5	4	20/3	18	20	40	-60 - +85	2,4/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-02	5,2273	1,6	3	0,5	4	20/3	6,4	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-03 -	5,0000 -	5,0	3	0,5	4	20/3	21	20	40	-60 - +85	2,4/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-03.63	5,2835	5,0	3	0,5	4	20/3	20	20	40	-60 - +85	2,4/10	19,7x14,7x5,0
(64 номинала через 4,5 кГц)												
ФП2П6-42-04	5	3,0	3	0,5	4	20/3	13	20	40	-60 - +85	1,2/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-05	10	6,0	3	0,5	4	20/3	24	20	40	-60 - +85	1,2/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-05.01	10	10,0	3	0,5	4	20/3	40	20	40	-60 - +85	2/6,8	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06 -	5,045-	6,0	3	0,5	4	20/3	24	20	40	-60 - +85	3,3/3,9	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.11	5,100	6,0	3	0,5	4	20/3	24	20	40	-60 - +85	3,3/3,9	19,7x14,7x5,0
(12 номиналов через 5 кГц)												
ФП2П6-42-	4,9825-	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.23	5,0375	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
(12 номиналов через 5 кГц)												
ФП2П6-42-06.24	4,905-	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.29	4,950	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
(6 номиналов через 10 кГц)												
ФП2П6-42-06.30	4,97	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.31	4,9775	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.32	4,98	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.33	5	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.34	5,04	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.35	5,0425	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x 14,7x5,0
ФП2П6-42-06.36	5,055	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.37	5,09	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.38	5,125	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.39	5,135	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.40	5,0475	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.41	5,0475	10,0	3	0,5	4	20/3	40	20	40	-60 - +85	5,1/3	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.42	5,0475	8,0	3	0,5	4	20/3	32	20	40	-60 - +85	3,9/3,9	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.43	5,0475	2,0	3	0,5	4	20/3	4	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.44	5,085	1,7	3	0,5	4	20/3	6,8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.45	4,3975	2,0	3	0,5	4	20/3	8	20	40	-60 - +85	1/20	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.46	5,061	6,0	1	0,5	4	20/3	24	20	40	-60 - +85	3,9/7,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-06.47	5	8,0	3	0,5	4	20/3	32	20	40	-60 - +85	3,9/3,9	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-07	4,152	5,0	3	0,5	4	20/3	20,8	20	40	-60 - +85	3,9/7,7	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-07.03	5,448	5,0	3	0,5	4,2	20/3	21	20	40	-60 - +85	2,4/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-07.04	6,744	5,0	3	0,5	4,28	20/3	21,4	20	40	-60 - +85	1,5/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-08	8,04	6,0	3	0,5	4,27	20/3	25,6	20	40	-60 - +85	1,5/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-08.01	9,0	6,0	3	0,5	4,3	20/3	25,8	20	40	-60 - +85	1,5/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-08.02	9,072	6,0	3	0,5	4,3	20/3	25,8	20	40	-60 - +85	1,5/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-08.03	9,216	6,0	3	0,5	4,3	20/3	25,8	20	40	-60 - +85	1,5/10	19,7x14,7x5,0

ФП2П6-42-08.04	9,336	6,0	3	0,5	4,3	20/3	25,8	20	40	-60 - +85	1,5/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-42-08.05	10,368	6,0	3	0,5	4,33	20/3	26	20	40	-60 - +85	1,3/10	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-43А	10	14,0	3	0,5	4,3	20/3	56	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-01	12,672	18,0	3	0,5	4	20/3	72	20	40	-60 - +85	2,7/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-02	16,896	24,0	3	0,5	4	20/3	96	20	40	-60 - +85	2,2/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-03	14,997	24,0	3	0,5	4	20/3	96	20	40	-60 - +85	0,68/4,25	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-04	11,664	6,0	3	0,5	4,36	20/3	26,2	20	40	-60 - +85	0,56/10	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-04.01	12,96	6,0	3	0,5	4,43	20/3	26,6	20	40	-60 - +85	0,56/10	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-04.02	14,256	6,0	3	0,5	4,47	20/3	26,8	20	40	-60 - +85	0,56/10	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-05	18,408	8,0	3	0,5	4,45	20/3	35,6	20	40	-60 - +85	0,56/10	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-05.01	18,432	8,0	3	0,5	4,45	20/3	35,6	20	40	-60 - +85	0,56/10	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-06	19,688	18,0	3	0,5	4	20/3	72	20	40	-60 - +85	1,3/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07	10,6508	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.01	10,6631	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.02	10,6751	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.03	10,6877	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4#,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.04	10,7	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.05	10,7123	15,0	3	0,5	4	20/3	60	2,0	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.06	10,7246	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.07	10,7369	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-07.08	10,7492	15,0	3	0,5	4	20/3	60	20	40	-60 - +85	2,4/6,8	12,0x12,0x3,9
ФП2П6-43А-08	18,5	13,0	6	0,5	4	20/6	52	20	40	-60 - +85	1,1/4,8	12,0x12,0x3,9
ФЛ2П6-43А-08.01	18,5	22,0	6	0,5	4	20/6	88	2,0	40	-60 - +85	1,8/3,3	12,0x12,0x3,9
ФП2П4-267-01	22,917	23,0	3	1,5	5	40/3	115	40	50	-60 - +85	3/1,1	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-02	22,937	58,0	3	1,5	4	40/3	232	40	50	-60 - +85	5,6/0	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-03	22,947	23,0	3	1,5	5	40/3	115	40	50	-60 - +85	3/1,1	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-04	22,962	23,0	3	1,5	5	40/3	115	40	50	-60 - +85	3/1,1	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-05	22,997	58,0	3	1,5	4	40/3	232	40	50	-60 - +85	5,6/0	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-06	28,0032	36,5	3	1,5	4	40/3	146	40	50	-60 - +85	2,4/1,2	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-07	18,5	13,0	6	1,5	4	50/6	52	50	50	-60 - +85	1,1/4,8	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-08	18,5	22,0	6	1,5	4	50/6	88	50	50	-60 - +85	1,8/3,9	19,7x,0,7x5
ФП2П4-267-09	20	40,0	6	1,5	4	50/6	88	50	50	-60 - +85	1,8/3,9	19,7x,0,7x5
ФП2П4-0272	21,4	18	6	2	2,77	80/6	50	80	95	-60 - +85	2,4/2,1	1,05,8x10x9
ФП2П4-279-01	7	22	3	2,5	3	80/3	64,8	80	80	-60 - +70	Z=7,2кОм	5,06,5x27,5x9
ФП2П-279-02	7	2,2	3	2,5	4,5	60/3	1000	80	80	-60 - +70	Z=1кОм	56,5x27,5x9
ФП2П4-285-1	4,97045	4,5	3						60			
ФП2П4-285-2	4,9762	4,5	3						60			
ФП2П4-285-3	4,9815	4,5	3						60			
ФП2П6-0326	21,4	18	6	0,5	4,27	20/3	77	20	40	-60 - +85	0,91/2	7,2x7,0x2,8
ФП2П6-326-03	26,96	9	6	0,5	4	20/3	36	20	40	-60 - +85	0,68/3,9	7,2x7,0x2,8
ФП2П6-326-04	26,945	9	6	0,5	4	20/3	36	20	40	-60 - +85	0,68/3,9	7,2x7,0x2,8
ФП2Г16-326-05	26,965	9	6	0,5	4	20/3	36	20	40	-60 - +85	0,68/3,9	7,2x7,0x2,8
ФП2П6-326-06	26,98	9	6	0,5	4	20/3	36	20	40	-60 - +85	0,68/3,9	7,2x7,0x2,8
ФП2П4-0327-01	21,4	40	6	2	2,67	80/6	107	80	90	-60 - +85	5,1/0,5	14,4x13,0x9,0
ФП2П4-333-01	22,963	20	3	2	2,5	60/3	50	60	80	-60 - +85	2,5/2	41,2x17,5x8,5
ФП2П4-333-02	19,683	10	1	2	3,3	60/3	33	60	80	-60 - +85	1,3/5	41,2x17,5x8,5
ФП2П4-333-03	22,963	5	3	2	4,14	60/3	20,7	60	80	-60 - +85	0,68/11	41,2x17,5x8,5
ФП2П4-335	18,5	43	6	3	2,1	50/6	90,3	50	50	-60 - +85	Z=4,7кОм	44,0x14,4x9,0
ФП2П1-340-07	2,856	8	3						46			
ФП2П4-355-01	8,364	7	6	2	3	60/6	21	60	60	-60 - +85	1,5/7	37,5x22,5x8,5
ФП2П4-355-02	9,996	11	6	2	3	60/6	33	60	60	-60 - +85	1,5/7	37,5x22,5x8,5
ФП2П4-355-03	10,003	11	6	2	3	60/6	33	60	60	-60 - +85	1,5/7	37,5x22,5x8,5
ФП2П4-355-04	12,0	11	6	2	1	60/6	33	60	60	-60 - +85	0,82/8	37,5x22,5x8,5
ФП2П4-356-01	14,992	14	6	2	3	60/6	42	60	60	-60 - +85	1,2/7	44,0x14,4x9,0
ФП2П4-3 56-02	15,008	14	6	1	3	60/6	42	60	60	-60 - +85	1,2/7	44,0x14,4x9,0
ФП2П4-356-03	18,060	14,5	6	2	3	60/6	43,5	60	60	-60 - +85	1/5,1	44,0x14,4x9,0
ФП2П4-356-04	19,992	14,5	6	2	3	60/6	43,5	60	60	-60 - +85	1/7	44,0x14,4x9,0

ФП2П4-356-05	19,995	145	6	2	3	60/6	43,5	60	60	-60 - +85	1/7	44,0x14,4x9,0
ФП2П4-3 56-06	20,008	145	6	2	3	60/6	43,5	60	60	-60 - +85	1/7	44,0x14,4x9,0
ФП2П4-3 56-07	14,0	4,8	6	2	2,5	40/6	12	40	80	-60 - +85	0,68/10	44,0x14,4x9,0
ФП2П-364-01	18,5	24	6	2	1,6	60/6	38,4	60	70	-50-+55	Roe 3,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П-364-03	18,5	24	6	2	2,5	60/6	60	60	70	-55 - +55	Roe 3,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-378	8,448	102	3	0,5	7,35	30/3	75	30	40	-40 - +55	3/1,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-378-1	10,7	15	3	1,5	2,93	40/3	44	40	60	-30 - +55	3/8,2	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-398-01	24,975	13	3	0,5	3,6	20/3	46,8	20	40	-20 - +70	0,91/6,2	13,0x10,0x9,0
ФП2П6-398-02	24,975	11,5	3	0,5	3,6	20/3	41,4	20	40	-20 - +70	0,91/6,2	13,0x10,0x9,0
ФП2П6-398-01.02	24,975	13	3	1	1,75	20/3	22,7	20	60	-20 - +70	0,91/6,2	25,0x15,0x12,0
ФП2П4-407	10	3,55	6	1,7	2,5	60/6	500	80	80	-10 - +60	1/13	
ФПЗП-429	18,5	45	6	2	2,2	60/6	99	60	70	-30 - +55	Roe 3,6-4	37,5x22,5x8,5
ФПЗП4-430	12	170	3	2	3	40/3	510	40	40	-60 - +85	0,9/11,2	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-01	12	350	3	2	3	40/3	1050	40	40	-60 - +85	2/3,2	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-02	12	400	3	2	3	40/3	1200	40	40	-60 - +85	2/3,2	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-03	12	84	3	2	3,5	40/1	294	40	40	-60 - +85	0,33/21	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-04	12,055	170	3	2	1	40/3	510	40	40	-60 - +85	0,9/11,2	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-05	12,1	190	3	2	3	40/3	570	40	40	-60 - +85	1,1/6,9	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-06	5,038	70	3	2	3	40/3	210	40	40	-60 - +85	0,62/26	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-07	11,76	190	3	2	3	40/3	570	40	40	-60 - +85	1,1/6,9	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-08	5,047	70	3	2	3	40/3	210	40	40	-60 - +85	0,62/26	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-09	10,7	360	3	2	3,22	40/3	1160	40	45	-60 - +85	2,4/3,2	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-10	15	175	3	2	3,5	40/3	612,	40	50	-60 - +85	0,74/13	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-П	15	335	3	2	3	40/3	1005	40	50	-60 - +85	1,1/6,9	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-12	15	630	3	3	3	40/3	1890	40	50	-60 - +85	3,9/3,7	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-13	18,031	200	3	2	3,5	40/3	700	40	50	-60 - +85	0,56/8	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-14	18,044	280	3	2	3,5	40/3	980	40	50	-60 - +85	0,68/6	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-15	22,945	130	3	2	3	40/3	390	40	50	-60-+85	0,18/23	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-16	22,99	190	3	2	3	40/3	570	40	50	-60 - +85	0,3/18	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-17	22,99	210	3	2	3	40/3	630	40	50	-60 - +85	0,3/18	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-18	28	180	3	2	3,5	40/3	630	40	50	-60 - +85	0,22/15	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-19	28,04	190	3	2	3,5	40/3	665	40	50	-60 - +85	0,3/12	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-20	4,88	65	3	2	4	40/3	260	40	40	-60 - +85	0,62/26	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-21	5	65	3	2	4	40/3	260	40	40	-60 - +85	0,62/26	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-22	5,12	65	3	2	4	40/3	260	40	40	-60 - +85	0,62/26	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-4 30-23	22,97	280	3	2	3,5	40/3	980	40	50	-60 - +85	0,56/8	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-24	12,5	300	3	2	3	40/3	900	40	50	-60 - +85	1,3/9,1	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-25	23,775	96	3	1,5	3,5	40/3	336	40	50	-60 - +85	0,27/22	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-26	23,925	96	3	1,5	3,5	40/3	336	40	50	-60 - +85	0,27/22	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-27	24,075	96	3	1,5	3,5	40/3	336	40	50	-60 - +85	0,27/22	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-28	24,225	96	3	1,5	3,5	40/3	336	40	50	-60 - +85	0,27/22	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-4 30-29	24,375	96	3	1,5	3,5	40/3	336	40	50	-60 - +85	0,27/22	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-31	28,055	170	3	1,5	2,94	40/3	500	40	40	-60 - +85	0,3/18	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-430-32	23	160	3	2	3	40/3	480	40	40	-60 - +85	0,3/18	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-432	10,7	13	6	2,5	2	60/6	26	60	80	-60 - +85	3/3,8	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-432-01	10,7	21	6	2,5	2	60/6	42	60	80	-60 - +85	5/1,8	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-02	10,7	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	8/0	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-03	18,5	13	6	2,5	2	60/6	26	60	80	-60 - +85	1/4,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-04	18,5	22	6	2,5	2	60/6	44	60	80	-60 - +85	1,8/2,3	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-05	18,5	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	2,8/1,2	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-06	18,5	45	6	2,5	2	60/6	90	60	80	-60 - +85	3,6/0,6	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-07	25	22	6	2,5	2	60/6	44	60	80	-60 - +85	1,3/2,7	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-08	25	45	6	2,5	2	60/6	90	60	80	-60 - +85	2,6/0,7	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-09	15	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-10	21,5	22	6	2,5	2	60/6	44	60	80	-60 - +85	1,2/3,3	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-11	21,5	45	6	2,5	2	60/6	90	60	80	-60 - +85	2,8/0,9	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-12	24,9	22	6	2,5	2	60/6	44	60	80	-60 - +85	1,3/2,7	41,5x17,5x8,5

ФП2П4-432-13	22,8	45	6	2,5	2	60/6	90	60	80	-60 - +85	2,6/0,7	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-14-	15,033-	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-20	15,231	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
(7 номиналов через 33 кГц)												
ФП2П4-432-21	15,26	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-22	15,297	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФЛ2П4-432-23	15,33	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-24	15,363	33	6	2,5		60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-25	15,396	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-26	15,429	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-27	15,462	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-28	15,495	33	6	2,5	2	60/6	66	60	80	-60 - +85	5,1/0,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-29	15	21	6	2,5	2	60/6	42	60	80	-60 - +85	3,3/1,5	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-432-30	22,91	42	3	2,5	2	60/3	84	60	80	-60 - +85	0,47/30	41,5x17,5x8,5
ФП2П4-434 -	11,0-	3	3	1,5	4,5	30/3	13,5	30	35	-10 - +60	0,22/24	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-434-20	12,0	3	3	1,5	4,5	30/3	13,5	30	35	-10 - +60	0,22/24	19,7x14,7x5,0
(21 номинал через 50 кГц)												
ФП2П4-436	10,7	15	6	2	2,6	80/6	46	90	90	-30 - +60	3,9/	37,5x22,5x8,5
ФП2П4-442	9,5	18	6	2	2,3	90/6	50	90	90	-60 - +85	Z=4 кОм	53,0x23,0x8,5
ФП2П4-442-01	10,7	18	6	2	2,3	90/6	50	90	90	-60 - +85	Z=2,8 кОм	53,0x23,0x8,5
ФП2П4-442-02	12,5	18	6	2	2,3	90/6	50	90	90	-60 - +85	Z=2,2 кОм	53,0x23,0x8,5
ФП2П4-442-03	12,5	33	6	2	2,86	80/6	116	80	80	-60 - +85	Z=8 кОм	40,0x18,0x7,0
ФП2П4-474	5,0475	1,7	3	2,5	3,0	80/3	5,1	80	80	-60 - +85	1,2/20	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-01	5,01875	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	86	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-02	5,02125	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-03	5,02375	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-04	5,02625	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-05	5,02875	3,5	1	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-06	5,03125	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-07	5,04375	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-08	5,04625	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-09	5,04875	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-474-10	5,05125	3,5	3	2,5	2,5	80/3	8,75	80	80	-60 - +85	1,8/10	52,3x45,0x8,5
ФП2П4-486-01	41,5	100	3	2,5	6	20/3	600	20	25	-60 - +85	7,5/2,0,95 мГц	12,0x12,0x4,2
ФП2П4-486-07	56,39	100	3	2,5	5	20/3	500	20	25	-60 - +85	2,7/5,6/0,8 мГц	12,0x12,0x4,2
ФП2П4-486-13	93,5	44	3	2,5	4,54	20/3	200	20	25	-60 - +85	3,9/3,6/0,3 мГц	12,0x12,0x4,2
ФП2П4-486-18	57	24	3	2	4,16	20/3	100	20	25	-60 - +85	1/0,5	12,0x12,0x4,2
ФП2П4-486-19	57,15	100	3	2,5	4	20/3	400	20	25	-60 - +85	3,3	12,0x12,0x4,2
ФП2П4-502	10,7	7,5	3			30/3					1,2/7,5	13,5x10,6x4,3
ФП2П4-502	10,7	15	3			30/3					1,1/3,5	13,5x10,6x4,3
ФП2П4-502-03	10,7	7,5	3	2	2,5	80/3	1000	80	80	-45 - +80	Г6/7	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-502-02	10,7	11,5	3	2	2,5	80/3	1000	80	80	-45 - +80	2,2/3,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-502-04	10,7	15	3	2	2,5	80/3	1000	80	80	-45 - +80	2,6/3,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-502-06	10,7	30	3	2	2,5	80/3	1000	80	80	-45 - +80	Z=10,8 кОм	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-502-09	21,4	18	3	2	2,5	80/3	1000	80	80	-45 - +80	1,6/3,2	19,7x14,7x5,0
ФП2П6-506	2,048	3,6	3	2	7	40/3	15	40	40	-50 - +55	3,6/7	40,0x18,0x7,0
ФП2П4-511	12,425	24,5	3	1	2,4	30/3	59	30	50	-60 - +85	3/0,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-511-01	10,7	24,5	3	1	2,4	30/3	59	30	50	-60 - +85	3/0,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П-514	18,5	19	6	1,5	2,5	60/6	47,5	40	70	-45 - +55	5,8	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-530-01	10,7	15	3	1,5	3,33	85/3	50	85	90	-30 - +60	2,6/3,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-530-02	10,7	7,5	3	1,5	2,93	80/3	22	80	90	-30 - +60	2/2,3	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-530-03	10,7	30	3	1,5	2,67	80/3	80	80	90	-30 - +60	5,7/0,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-530-04	10,7	22	3	1,5	2,72	80/3	60	80	90	-30 - +60	2,6/3,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-531	10,7	15	3	1	1,66	40/3	25	40	60	-10 - +60	3/3,5	19,7x14,7x5,0
ФП2П4-545	12,425	26,5	3	1,5	1,85	40/3	49	40	70	-60 - +85	3,9/0,5	19,7x14,7x5,0

ФП2П4-545-01	10,7	26,5	3	1,5	1,85	40/3	49	40	70	-60 - +85	3,9/0,5	19,7x14,7x5,0
ФПЗП4-573	71	160	3	1	10	70/3	1600	70	70	0 - +70	7,5	5,6x4,5x1,9,0
ФПЗП4-575	10,7	50	6	2	3	80/3	150	80	90	-40 - +70	3,3/1	15,8x14,5x9,0

Таблица А.4 - Параметры фильтров для АМ тракта радиовещательных РПрУ

Обозначение фильтра	Средняя частота, кГц	Полоса пропускания по уровню 2 дБ, кГц	Ослабление соседнего канала, дБ	Коэффициент прямоугольности по уровням		Ослабление в полосе пропускания, дБ	Нагрузочное сопротивление на входе и выходе, кОм
				10 дБ	100 дБ		
ПФ1П-4-3	465±2	7...10	34	7...10	2,8...3,1	6...8	
ПФ1П-5-3	465±2	9... 14	2(5	1,3...2,1		6...8	
ПФ1П-2	465±3	8,5... 12,5	40	1,3...2	1,6...2,2	6	
ПФ1П-0.22	465±3	10,5... 14,5	26	1,5.1,6	1,9...2,3	6	2
ПФШ-0.23	465±3	8...11,5	40	1,3...2	1,6...2,3	6	2
ПФ1П-0.24	465±2	9,5^,5	35			6	2
ПФ1П-0.25	465±2	9,5*1,,5	30			6	2
ПФ1П-0.26	465±3	7... 10,5	26	1,9...2,1	1,8...2,5	6	2
ПФ1П-0.27	465±3	8... 11,5	35	1,5...2,1	1,8...2,5	6	2
ПФ1П-0.41	465±3	3,7...8	55			6	
ПФ1П-0.42	465±3	3,7...8	47			6	2
ПФ1П-0.43	465±3	3,7...8	46			6	2
ФП1П-60.01	465±2	4...6	50			6	
ФП1П-60.02	465±2	8...11	40			6	
ФГПГ1-60.07	465±2	8..11,5	35			6	
ФП1П-60.08	465±2	7...11	40			6	

Таблица А. 5 - Параметры фильтров для ЧМ тракта радиовещательных РПрУ

Обозначение фильтра	Средняя частота, МГц	Полоса пропускания по уровню 2 дБ, кГц	Ослабление соседнего канала, дБ	Ослабление в полосе пропускания, дБ	Емкость настройки входного / выходного преобразователей	Номинальные входное сопротивление и сопротивление нагрузки на выходе, кОм
ПФ1П-0.49-1-1	10,64±0,04	130.240	>30	10	20 нФ	0,33
Г1Ф1П-0.49-1-1	10,64±0,04	130.240	>30	10	20 нФ	0,33
ПФ1П-0.49-1-3	10,70±0,03	130..240	>30	10	20 нФ	0,33
ПФ1П-0.49-1-5	10,76±0,04	130..240	>30	10	20 нФ	0,33
ПФ1П-0.49-2-1	10,69±0,04	130..320	>30	10	20 нФ	0,33
ПФ1П-0.49-2-3	10,70±0,03	130..320	>30	10	20 нФ	0,33
ПФ1П-0.49-2-5	10,76±0,04	130..320	>30	10	20 нФ	0,33
ФП1П8-3	10,64±0,04 10,67±0,03 10,70±0,03 10,73±0,03 10,76±0,04	240 ±40 по уровню 6 дБ	50 дБ при расстройке ±330 кГц	6...10 (ФП1П8-3-1) 10...15 (ФП1П8-3-2)	5 пФ	0,33
Примечание - Габаритные размеры фильтров П - 18,5x 16,0x6,0 мм; размеры фильтра ФП1П8-3 - 9,5x27,5x3,8 мм ФП						

Таблица А.6 - Параметры электромеханических фильтров

Обозначение фильтра	Средняя частота, МГц	Полоса пропус- кания по уровню 1,41 дБ, кГц	Затухание при рас- стройке ±10кГц, дБ	Коэффициент прямоугольности по уровням		Ослабле- ние в поло- се пропус- кания	Емкость на стройки входно- го/выходного преобра- зователей	Номи- нальное входное сопро- тивление кОм	Номи- нальное сопро- тивление на выхо- де, кОм
				10 дБ	100 дБ				
ЭМФП-5-465-6	465±1,5	5,6-6,4	56	2,8-3,1	3,3-4	8,5	300/1500	10	1
ЭМФП-5-465-7	465±1,5	6,5-7,5	35			14,0	150/40	50	10
ЭМФП-5-465-9	465±1,5	8,4-9,6	42	1,7-2,0	2,2-3	7,0	300/2200	10	1
ЭМФП-5-465-13	465±1,5	12,2-13,8	26	1,3-1,5		8,0	300/3300	10	1

Таблица А.7 - Параметры пьезокристаллических фильтров, используемых в канале изображения телевизионных приемников

Основные технические характеристики	Варианты ФПЗП9-458				ФПЗП9-451 и ФПЗП9-451-01			
	1-1	1-2	2-1	2-2	1 1 2	3	4	
Несущая частота изображения, МГц			38,9	45,75	38			
Ширина полосы пропускания по уровню несущей частоты изображения, МГц	4,4	3,5	4,4	3,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Неравномерность АЧХ в полосе пропускания, дБ	2	2	2	2	2	2	2	2
Коэффициент передачи в полосе пропускания	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
на частотах: 31,9МГц 40,4 МГц 33,4МГц 41,25 МГц 39,75 МГц до30 МГц 30 МГц 31,5 МГц 39,5 МГц 39,5...41,5 МГц	Затухание относительно уровня несущей частоты изображения, дБ,							
	40	-	40	-	-	-	-	-
	40	-	40	-	-	-	-	-
	10..15	-	10..15	-	-	-	-	-
	-	10..15	-	10..15	-	-	-	-
	-	35	-	35	-	-	-	-
	-	-	-	-	35	30	40	35
	-	-	-	-	40	35	45	40
	-	-	-	-	14..20	14..20	18..20	18..24
	-	-	-	-	35	30	40	40
	-	-	-	-	30	28	38	32
Уровень подавления сигнала тройного прохождения, дБ, не менее	40	40	40	40	40	40	40	40
Предельно допустимое напряжение на входе, В, не более	10	10	10	10				
Номинальное значение входной емкости, пФ	13	22	13	22	40	40		
Номинальное значение выходной емкости, пФ	25	35	25	35	40	40		
Входное сопротивление, Ом	320	115	320	115	300	300	200	200
Выходное сопротивление, Ом	170	105	170	105	300	300	150	150
Габаритные размеры корпуса, мм	нет данных				19,5x14,5x5,0			
Примечание - Фильтры ФПЗП9-451-01, ФПЗП9-458-1-1, ФПЗП9-458-1-2 выпускаются в бескорпусном исполнении.								

Таблица А.8 - Параметры пьезокерамических фильтров для подавления сигнала звукового сопровождения телеприемников

Параметр	ФП1Р8-63,01	ФП1Р8-63,02
Номинальная частота, МГц	5,5	6,5
Вносимое затухание на номинальной частоте, дБ, не менее	35	35
Вносимое затухание, дБ, не более, на частотах: 4,7 МГц 5,7 МГц		
	3	-
	-	3
Активная нагрузка, Ом: на входе на выходе		
	160 ± 10%	
	750 ± 10%	
Суммарная емкость монтажа и соседних каскадов, параллельная входу и выходу фильтра, пФ, не более	15	
Напряжение постоянного тока на входе, В, не более	50	
Напряжение переменного тока на входе, В, не более, на частотах: на номинальной в остальном диапазоне		
	2	
	5	
Интервал рабочих температур, °С	-25...+55	
Относительная влажность, %	до 98	
Вибрации в диапазоне частот от 10 до 80 Гц с ускорением, м/с ²	до 49,1	

Таблица А.9 - Параметры пьезокерамических фильтров для выделения сигнала звукового сопровождения телеприемников

Параметр	ФП1П8-62,01	ФП1П8-62,02 I ФП1П8-6	
Номинальная частота, МГц	5,5	6,5 j 4,5	
Частота среза по уровню 3 дБ, МГц, не более: нижняя верхняя			
	5,425	6,420	-
	5,575	6,580	-
Минимальное вносимое затухание в полосе пропускания, дБ, не более	6	6	6
Ширина полосы пропускания по уровню 20 дБ, кГц, не более	550	600	600
Неравномерность затухания в полосе пропускания, дБ, не более	1	1	3
Гарантированное затухание в полосе задерживания, дБ, не менее, в диапазонах частот: 4,5... 5 и 6,...6,5 МГц 5,5...6 и 7...7,5 МГц			
	25	-	-
	-	25	-
Затухание передачи на частоте 4406 кГц, дБ, не более	-	-	14
Затухание на частоте 4250 кГц относительно уровня 4406 кГц, дБ, не менее	-	-	20
Суммарная емкость монтажа и соседних каскадов, параллельная входу и выходу фильтра, пФ, не более	15	15	-
Напряжение постоянного тока на входе, В, не более	50	50	-
Напряжение переменного тока на входе, В, не более, на частотах: номинальной в остальном диапазоне			
	2	2	-
	5	5	-
Габаритные размеры корпуса, мм	4x11x11		8x16x4

Приложение Б (справочное)

Логарифмические шкалы

Значительное число физических величин имеет широкий диапазон возможных значений. В научных и инженерных задачах линейная шкала отсчета этих величин оказывается неудобной, поэтому пользуются логарифмической шкалой.

Множество физических процессов измеряется в единицах мощности (теплота, радиоизлучение). Логарифмическая шкала вводится следующим образом:

$$K_p [\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \quad (\text{Б.1})$$

где K_p - коэффициент передачи мощности, дБ;

$P_{\text{вых}}$ — мощность результирующего процесса;

$P_{\text{вх}}$ ~ мощность исходного процесса.

При $P_{\text{вых}} > P_{\text{вх}}$ коэффициент передачи мощности больше 0 дБ, что соответствует усилению мощности. При $P_{\text{вых}} < P_{\text{вх}}$ коэффициент передачи мощности отрицательный, что соответствует ослаблению мощности процесса.

Мощность электрического процесса

$$P = IU = I^2 R = U^2 / R$$

где I - сила тока;

U - падение напряжения на сопротивлении R .

Если напряжения приложены к одинаковым сопротивлениям, то

$$K[\text{дБ}] = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = 10 \lg \frac{U_{\text{вых}}^2 / R}{U_{\text{вх}}^2 / R} = 10 \lg \frac{U_{\text{вых}}^2}{U_{\text{вх}}^2} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 20 \lg K_U$$

где $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{вх}}$ - напряжения на входе и выходе устройства соответственно;

K_U - коэффициент усиления по напряжению.

При переводе из абсолютных единиц в относительные надо внимательно разобраться, какие размерности используются. Если точно известно, что сравниваются напряжения, используют множитель 20 перед знаком логарифма, если же сравниваются мощности, то применяется формула (Б.1).

Пересчитать относительные единицы в абсолютные можно с помощью следующих формул:

$$K_U = 10^{K_p[\text{дБ}]/20},$$

$$K_p = 10^{K_U[\text{дБ}]/20}.$$

В проводной связи за исходную величину сравнения мощностей принята

мощность в начале линии, которая равна 1 мВт и носит название нулевого уровня:

$$P_0 = 1 \text{ мВт} = 10^0 \text{ Вт}.$$

При входном сопротивлении линии $R_{ВХ}$ - 600 Ом нулевой уровень по напряжению составляет U_0 - 0,775 В, а по току $I_0 = 1,29$ мА.

В системах радиосвязи пользуются следующими величинами:

1 дБВт - один децибел относительно 1 Вт;

1 дБмкВ - один децибел относительно 1 мкВ;

1 дБм - один децибел мощности относительно нулевого уровня.

В проводной связи вместо децибел используют неперы [Нп], а логарифмическую шкалу вводят следующим образом:

$$b[\text{Нп}] = \ln \left(\frac{U_K}{U_N} \right), \quad b[\text{Нп}] = \ln \left(\frac{I_K}{I_N} \right),$$

где U_N, I_N - напряжение и ток соответственно в начале линии;

U_K, I_K - напряжение и ток соответственно в конце линии.

Для отношения мощностей применяется следующая формула:

$$P[\text{Нп}] = 0.5 \ln \left(\frac{P_K}{P_0} \right),$$

где P_K - мощность в конце линии, выраженная в милливаттах.

Если уровни выражаются в децибелах, тогда $P[\text{дБ}] = 10 \lg \left(\frac{P_K}{P_0} \right)$.

Переход от одних единиц к другим можно осуществить при помощи следующих равенств:

$$1 \text{ дБ} = 0,115 \text{ Нп}; \quad 1 \text{ Нп} = 8,68 \text{ дБ}.$$

Разность уровней на входе и выходе канала связи называется остаточным затуханием. По существующим нормам остаточное затухание телефонных каналов должно лежать в пределах 0,8...1,0 Нп. Если в начале линии имеется мощность P_N , а на ее конце мощность P_K , то затухание в неперах

$$b[\text{Нп}] = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{P_N}{P_K} \right]$$

Некоторые часто используемые значения абсолютных и относительных единиц приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Абсолютное значение отношения												
1	1,12	1,26	2	3,16	4	5	10	20	30	40	100	1000
Значение отношения мощностей, дБ												
0	0,5	1	3	5	6	7	10	13	14,8	16	20	40
Значение отношения напряжений, дБ												
0	1	2	6	10	12	14	20	26	30	32	30	60

Приложение В Пример выполнения перечня элементов

Поз. обоз.	Наименование	Кол-во	Примечание
BA1	Головка громкоговорителя динамическая 5ГДШ-5-4 ИЦЗ. 843.763. ТУ	1	
	Конденсаторы		
C1	K10-17a-ПЗЗ-2,2 пФ ±5% ОЖО.460.107ТУ	1	
C3	K73-16-63В'3,9 мкФ ±10% ОЖО.461.108ТУ	1	
C8	K50-29-63В-4 7мкФ ОЖОА64.156ТУ	1	
	Интегральные схемы		
D1	K142ЕН6 6K0.348.425-05ТУ	1	
D3 D7	K174ПС1 6K0.348.678ТУ	1	
	KP140УД608 6K0.348.095-03ТУ	1	
D8	1533ЛА1 6K0.347.364-01 ТУ	1	
D9	KP1810BT37Л 6K0.348.800-12ТУ	1	
D10	KP580BB51A 6K0.348.745-О3ТУ	1	
F1	Вставка плавкая ВП1-2 5,0 А 250 В ОЮО. 480.003ТУ	1	
KA1	Реле РЭС 52-ТЯЛ0.455.012ТУ	1	
	Катушки индуктивности		
L1, L2	Катушка индуктивности МИВУ 760019.001	2	3 мГн
L4	Дроссель ДМ-2,4-4В ГИО.477.005ТУ	1	

Поз. обоз.	Наименование	Кол-во	Примечание
	<i>Резисторы</i>		
R1	02-23-0,125-4,7 кОм ±10% ОЖО.467.104ТУ	1	
R3	C2-33H-0,125-56 кОм ±10% ОЖО.467.093ТУ	1	
R4	01-4-0,5-430 кОм ±5% АПШК.434110.001 ТУ	1	
R9	05-16-2-1,5 Ом ±1% ОЖО.467.513ТУ	1	
R24	ОПЗ-19а2-0,5-100 кОм ±10% ОЖО.468.134ТУ	1	
SA1	Тумблер П1ТЗ-1 ОЮО.360.063ТУ	1	
T1	Трансформатор ТС201 МИВУ.671121.001	1	
	<i>Диоды</i>		
VD2	Варикап 2В110 ТТ4.660.014ТУ	1	
VD10	Стабилитрон 2С168А СМЗ.362.805ТУ	1	
	<i>Транзисторы</i>		
VT1	2Т368А ОБО.336.051 ТУ	1	
VT3	КТ3102АМ АА0.336.122ТУ	1	
VT7	КТ680А АА0.336.793ТУ	1	
VT8	КП103Е1 ТФЗ.365.000ТУ1	1	
XS1	Гнездо ГС 2-2-3-П-1 АГО.364.205ТУ	1	
ZQ2	Резонатор К1-4ДС-6,143 М РЦЗ.382.255ТУ	1	

Приложение Г (рекомендуемое)
Пример расчёта пейджерного радиоприемника

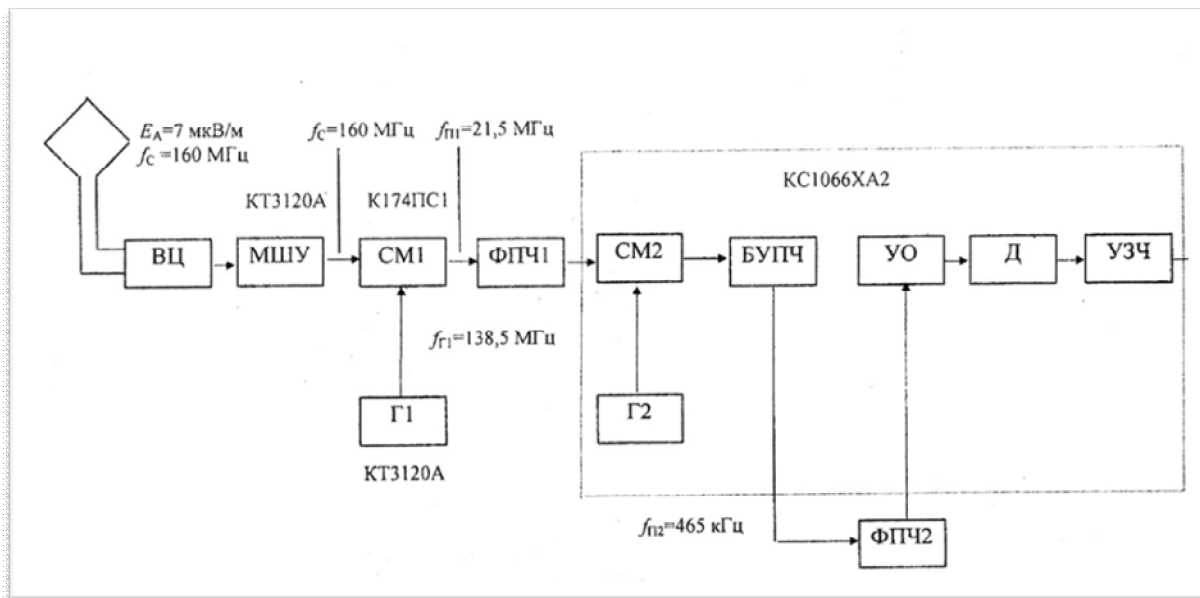
Г. 1 Выбор структурной схемы и расчет

Задание: составить структурную схему голосового [1] пейджерного приёмника, рассчитать требуемые параметры его узлов.

Исходные данные:

1. Диапазон частот: 160 МГц.
2. Нестабильность несущей частоты принимаемых сигналов $20 \cdot 10^{-6}$.
3. Вид модуляции: ЧМ, девиация: 4 кГц, нижняя частота модуляции $F_H = 0,3$ кГц, верхняя частота модуляции $F_B = 3,4$ кГц.
4. Чувствительность 7 мкВ/м при отношении с/ш на выходе 10 дБ.
5. Ослабление побочных каналов 70 дБ.
6. Ослабление соседнего канала 75 дБ при расстройке соседнего канала 25 кГц.
7. Тип оконечного устройства - малогабаритный громкоговоритель (МГ).
8. Допустимый уровень частотных искажений 6 дБ.
9. Допустимый коэффициент гармоник 7 %.
10. Питание - аккумулятор.

В пейджерных приёмниках применяются рамочные антенны [1-3]. Исходя из жестких требований к избирательности по побочным и соседним каналам приёма выбираем супергетеродинную схему с двойным преобразованием частоты. Значения промежуточных частот целесообразно выбрать из стандартного ряда, чтобы использовать серийно выпускаемые промышленностью фильтры. Это позволит снизить стоимость приёмника. С целью уменьшения габаритов целесообразно тракт промежуточных частот реализовать на интегральных схемах. Для первого преобразователя выбираем ИС К174ПС1 с верхней граничной частотой 200 МГц, для второго - преобразователь в составе ИС КС1066ХА2, представляющей собой приёмник ЧМ сигналов. Для обеспечения заданной чувствительности и нормальной работы первого преобразователя применим мал шумящий УРЧ на транзисторе. Структурная схема радиочастотной части приемника приведена на рисунке Г. 1.



ВЦ - входная цепь; МШУ - малошумящий усилитель; СМ1, СМ2 - смесители; Г1, Г2 - гетеродины; ФПЧ1, ФПЧ2 - фильтры промежуточных частот; БУПЧ - буферный усилитель промежуточной частоты; УО - усилитель ограничитель; Д - детектор; УЗЧ - усилитель звуковых частот

Рисунок Г. 1 - Пейджерный приёмник с двойным преобразованием частоты. Схема электрическая структурная

Полоса пропускания [4]

$$П = П_c + П_{нс} + 2\Delta f_d,$$

где $П_c$ - полоса принимаемого сигнала;

$П_{нс}$ - запас полосы на нестабильность частот передатчика и приёмника и неточность настройки приёмника;

Δf_d - доплеровское смещение частоты.

Допплеровский сдвиг при скорости пешехода 5 км/ч составит менее 1 Гц и его можно не учитывать.

Полоса сигнала при частотной модуляции [1]

$$П_c = 2(\Delta f + F_B) = 2(4 \cdot 10^3 + 3,4 \cdot 10^3) = 14,8 \cdot 10^3 = 14,8 \text{ кГц.}$$

В приёмнике используются пьезоэлектрические фильтры с высокой повторяемостью параметров и характеристик, поэтому запас полосы на неточность настроек можно не учитывать. Учтём только нестабильности частоты передатчика и гетеродинов.

Запас полосы на нестабильность

$$П_{нс} = \sqrt{(b_c f_c)^2 + (b_{Г1} f_{Г1})^2 + (b_{Г2} f_{Г2})^2}$$

где b_c , $b_{Г1}$, $b_{Г2}$ - относительные нестабильности сигнала и первого и второго гетеродинов соответственно,

$f_{Г1}$, $f_{Г2}$ - частоты первого и второго гетеродинов соответственно.

Приёмник работает на фиксированной частоте, поэтому можно применить нижнюю настройку обоих гетеродинов.

Для обеспечения избирательности по зеркальному каналу мы выбрали первую промежуточную частоту $f_{П1} = 21,5$ МГц, тогда вторую целесообразно принять $f_{П2} = 465$ кГц.

Частота первого гетеродина

$$f_{Г1} = f_c - f_{П1} = 160 \cdot 10^6 - 21,5 \cdot 10^6 = 138,5 \cdot 10^6 = 138,5 \text{ МГц.}$$

Гетеродин с такой частотой на седьмой механической гармонике кварца может обеспечить нестабильность $b_{Г1} = 10^{-5}$ [6]. Выбираем транзистор КТ3120А.

Частота второго гетеродина

$$f_{Г2} = f_{П1} - f_{П2} = 21,5 \cdot 10^6 - 0,465 \cdot 10^6 = 21,035 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 21,035 \text{ МГц.}$$

Примем нестабильность второго кварцевого гетеродина $b_{Г2} = 10^{-6}$.

$$P_{\text{нс}} = 2 \sqrt{(20 \cdot 10^{-6} \cdot 160 \cdot 10^6)^2 + (10^{-5} \cdot 138,5 \cdot 10^6)^2 + (10^{-6} \cdot 21,035 \cdot 10^6)^2} = 7 \text{ кГц}$$

Полоса приемника

$$P = 14,8 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^3 = 21,8 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 21,8 \text{ кГц.}$$

Г. 1.4 Выбор фильтров промежуточных частот

В имеющихся справочных данных (см. таблицы А.4, А.6) нет сведений о выпускаемом промышленностью фильтрах с центральной частотой 465 кГц и полосой пропускания 22 кГц, поэтому требуемую полосу и ослабление соседнего канала необходимо обеспечить в фильтре первой промежуточной частоты, а в качестве фильтра второй промежуточной частоты можно применить одиночный LC контур.

По таблице А.3 выбираем фильтр ФП2П4-432-10 со следующими параметрами:

Номинальная частота 21,5 МГц.

Полоса пропускания 22 кГц по уровню 6 дБ.

Коэффициент прямоугольности 2 по уровням 60/6 дБ.

Полоса задерживания 44 кГц по уровню 60 дБ.

Гарантированное затухание в полосе задерживания 80 дБ.

В случае, когда не указано значение полосы задерживания, ее можно определить по формуле коэффициента прямоугольности

$$K_{\Pi} = \frac{P_{a2 \text{ дБ}}}{P_{a1 \text{ дБ}}}.$$

где $P_{a2 \text{ дБ}}$ - полоса по уровню $a2$ дБ, здесь - полоса задерживания; $P_{a1 \text{ дБ}}$ - полоса по уровню $a1$ дБ, здесь - полоса пропускания. Отсюда полоса задерживания

$$P_{a2 \text{ дБ}} = K_{\Pi} \cdot P_{a1 \text{ дБ}} = 2 \cdot 22 \cdot 10^3 = 44 \cdot 10^3 = 44 \text{ кГц.}$$

Итак, на уровне 6 дБ полоса пропускания ± 11 кГц, на уровне 60 дБ полоса ± 22 кГц. Строим частотную характеристику фильтра (рисунок Г.2) по точкам с координатами (11 кГц; 6 дБ), (22 кГц; 60 дБ), (-11 кГц; 6 дБ), (-22 кГц; 60 дБ).

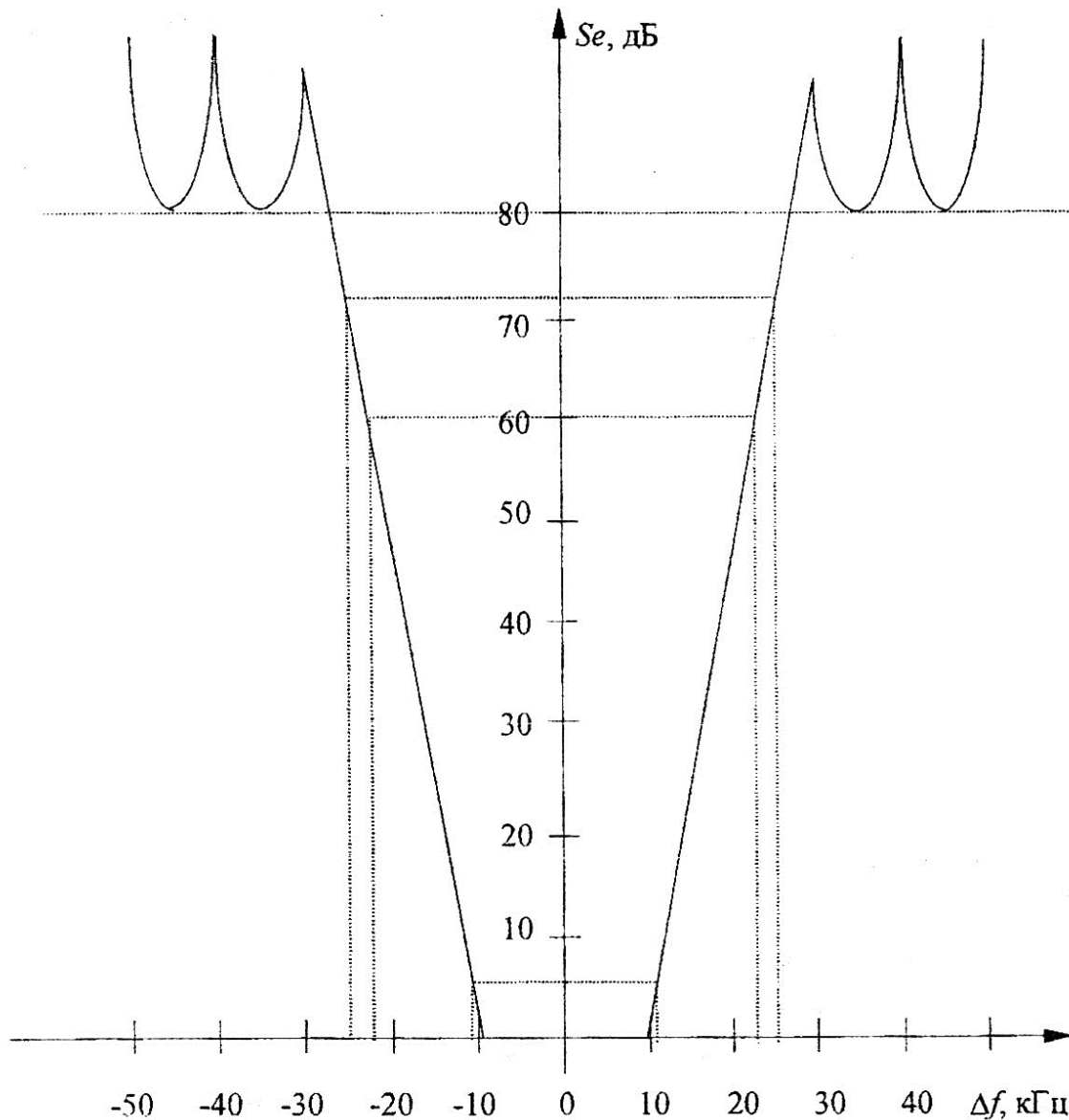
кГц; 60 дБ), соединяем их сплошными линиями. На уровне 80 дБ проводим горизонтальную штриховую линию, обозначающую уровень гарантированного затухания в полосе задерживания, т.е. при расстройке от номинальной частоты более 27 кГц. По частотной характеристике находим, что полоса задерживания фильтра на уровне 80 дБ составляет 54-56 кГц.

Проверяем ослабление второго зеркального канала в фильтре первой промежуточной частоты. Частота второго зеркального канала

$$f_{зк2} = f_{П1} - 2 \cdot f_{П2} = 21,5 \cdot 10^6 - 2 \cdot 0,465 \cdot 10^6 = 20,57 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

Расстройка второго зеркального канала

$$\xi_{зк2} = 2 \cdot f_{П2} = 2 \cdot 465 \cdot 10^3 = 930 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 930 \text{ кГц.}$$



По рисунку Г.2 определяем, что второй зеркальный канал попадает в полосу задерживания фильтра и ослабляется не менее чем на $Se_{зк2} = 80 \text{ дБ}$, т.е. больше, чем задано в ТЗ.

Г. 1.5 Расчёт коэффициента шума, выбор средств обеспечения чувствительности

Дано: схема преселектора. Задача: выбрать транзистор УРЧ, схему преобразователя исходя из заданной чувствительности. Рассчитать допустимый и полученный коэффициенты шума.

Допустимый коэффициент шума N_d рассчитывается исходя из требуемой чувствительности. Полученный коэффициент шума N_o определяется

шумовыми и усилительными свойствами выбранного преселектора. На основании сравнения N_d и N_o делается вывод о правильном или неправильном выборе преселектора [4].

Коэффициент шума приёмника

$$N_o = N_{вц} + \frac{N_{уф} - 1}{K_{рвц}} + \frac{N_{п} - 1}{K_{рвц} K_{руф}}$$

где N - коэффициенты шума;

K_p - коэффициенты передачи мощности соответствующих блоков приёмника.

Коэффициент шума входной цепи 1

$$N_{вц} = \frac{1}{K_{рвц}}$$

где $K_{рвц} = \eta$ - эффективность рамочной антенны.

Примем [2] $\eta = 0,02$, тогда

$$N_{вц} = \frac{1}{0,02} = 50$$

Коэффициент шума УРЧ на одном транзисторе

$$N_{ур} = 2N_T,$$

где N_T - коэффициент шума транзистора.

Выбираем транзистор КТ3120А с нормированным коэффициентом шума. По [7] параметры транзистора: $f_T = 3$ ГГц, $N_T = 1,3$ дБ на частоте 400 МГц, ёмкость коллектора $C_p = 1,4$ пФ, коэффициент усиления мощности $K_p = 13,5$ дБ, $K_p = 10^{13,5/10} = 22,4$.

Коэффициент шума транзистора

$$N_T = 10^{1,3/10} = 1,35.$$

Коэффициент шума УРЧ

$$N_{ур} = 2 * 1,35 = 2,70.$$

По графикам [8] определяем Y-параметры транзистора:

$$Y_{21э} = 0,2 \text{ А/В}, g_{22} = 0,1 \text{ мСм}, b_{22} = 3,5 \text{ мСм},$$

$$g_{12} = -0,2 - g_{22} = -0,2 * 0,1 * 10^{-3} = -2 * 10^{-5} \text{ См},$$

$$b_{12} = -0,3 - b_{22} = -0,3 * 3,5 * 10^{-3} = -1,05 * 10^{-3} \text{ См}.$$

Проводимость внутренней обратной связи

$$Y_{12Э} = \sqrt{g_{12}^2 + b_{12}^2} = \sqrt{(-2 \cdot 10^{-5})^2 + (-1,05 \cdot 10^{-3})^2} \approx 1,1 \cdot 10^{-3} = 1,1 \text{ мСм.}$$

$Y_{12Э}$ можно найти по другой формуле:

$$Y_{12Э} = 2\pi f_c C_k = 2\pi \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot 1,4 \cdot 10^{-12} = 1,4 \cdot 10^{-3} = 1,4 \text{ мСм.}$$

При расчете получены близкие значения $Y_{12Э}$.

Если в справочнике не приведено значение коэффициента передачи мощности транзистора, его можно оценить по формуле:

$$K_{PUP} = 0,15 \frac{Y_{21}}{Y_{12}} = 0,15 \frac{0,2}{1,4 \cdot 10^{-3}} = 21,4.$$

Это значение отличается от справочного менее чем на 5 %. Для дальнейших расчетов возьмем худшие значения $Y_{12Э} = 1,4 \text{ мСм}$ и $K_{PUP} = 21,4$. В преобразователе частоты используем интегральную схему К174ПС1. Коэффициент шума этой ИС [9] $N_{ИС} = 8 \text{ дБ}$, $N_{ИС} = 10^{8/10} = 6,31$. Коэффициент шума преобразователя [4] $N_{ПЧ} = N_{ИС} = 6,31$.

Коэффициент шума приемника

$$N_0 = 50 + \frac{2,7 - 1}{0,02} + \frac{6,31 - 1}{0,02 \cdot 21,4} = 147.$$

Допустимый коэффициент шума

$$N_d = \frac{[E^2 / \gamma_{ВХ}^2] h_d^2}{4kT_0 / I_{ш} R_A}$$

где $E = 7 \text{ мкВ/м}$ - напряжённость поля в точке приёма;

$\gamma_{ВХ}$ - отношение сигнал/шум на входе приемника;

h_d - действующая высота антенны приёмника;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ - постоянная Больцмана;

$T_0 = 290 \text{ К}$ - температура приёмника;

$\Pi_{ш}$ - шумовая полоса приёмника;

R_A - сопротивление антенны.

Отношение сигнал/шум на входе [10]

$$\gamma_{ВХ} = \frac{\gamma_{ВЫХ}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\Pi_{шФ}}{\Delta f_{МАКС}}}$$

где $\gamma_{ВЫХ} = 10^{\gamma_{ВЫХ, дБ}/20} = 10^{10/20} = 3,16$ - отношение сигнал/шум на выходе;

$\Pi_{шФ} = 1,1 \cdot F_v = 1,1 \cdot 3,4 \cdot 10^3 = 3,74 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ - эффективная шумовая полоса последетекторного тракта,

$\Delta f_{МАКС} \sim 4 \text{ кГц}$ - максимальная девиация частоты.

$$\gamma_{ВХ} = \frac{3,16}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{(3,74 \cdot 10^3)^2}{(4 \cdot 10^3)^2}} = 1,64.$$

По рекомендациям [4] принимаем $\gamma_{\text{вх}} = 2$.

Эффективная шумовая полоса приёмника

$$P_{\text{ш}} = 1,1 * P = 1,1 * 21,8 * 10^3 = 24 * 10^3 \text{ Гц} = 24 \text{ кГц.}$$

1.2.6 первый гетеродин на биполярном транзисторе КТ3120А, работающий на седьмой механической гармонике кварца;

1.2.7 фильтр первой промежуточной частоты ФП2П4-432-10 с центральной частотой 21,5 МГц;

1.2.8 второе преобразование частоты и детектирование осуществляется ИС КС1066ХА2;

1.2.9 фильтр второй промежуточной частоты - одиночный колебательный контур с центральной частотой 465 кГц и затуханием 0,06.

При выборе УЗЧ необходимо учесть заданный коэффициент гармоник. Критерии выбора громкоговорителя и аккумулятора приведены в первом разделе настоящего пособия.

Г.2 Расчет входной цепи пейджерного приемника

В пейджерных приемниках используют рамочные антенны для уменьшения габаритов РПрУ. Индуктивность рамки является индуктивностью входной цепи. Пейджер работает, как правило, на фиксированной частоте, поэтому входную цепь перестраивать не нужно [1-3]. Для уменьшения габаритов приемника входную цепь можно сделать одноконтурной.

Согласно техническому заданию рабочая частота приемника $f_c = 160 \text{ МГц}$, при проектировании структуры радиоприемника выбрана первая промежуточная частота $f_{\text{ПЧ}} = 21,5 \text{ МГц}$. При добротности рамки $Q = 1000 \dots 2000$ [5] одноконтурная входная цепь может обеспечить требуемую избирательность по зеркальному каналу $Se_{\text{зк}} = 70 \text{ дБ}$ [4].

На основании рекомендаций [3] выберем схему ВЦ (рисунок Г.3) и одновитковую прямоугольную рамку из медного проводника прямоугольного сечения. Из конструктивных соображений выберем рамку размером 40x15 мм (рисунок Г.4).

Периметр рамки

$$L = (a + b) * 2 = (40 + 15) * 2 = 110 \text{ мм.}$$

Длина волны

$$\lambda = c / f = 3 * 10^8 / (160 * 10^6) = 1,88 \text{ м.}$$

По рекомендациям [3] выбираем размеры проводника рамки: высота

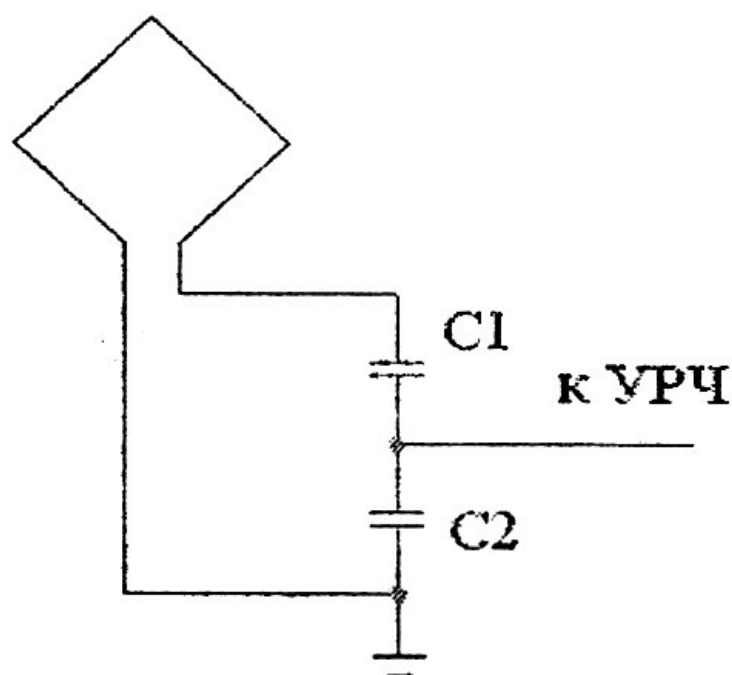
$h = 0,7 \text{ мм}$, ширина $w = 3,5 \text{ мм}$.

Эквивалентный диаметр проводника [4]

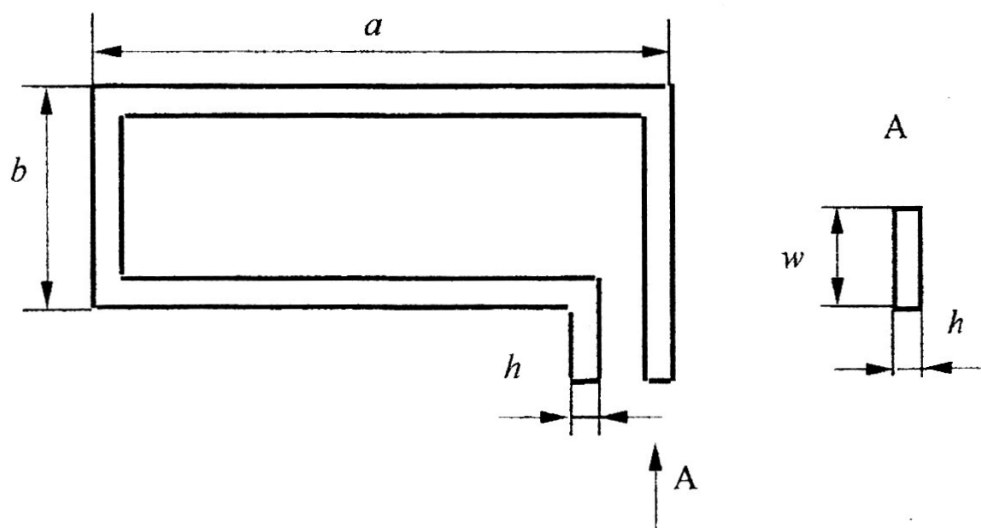
$$d_0 = 2 \sqrt{\frac{2hw}{\pi}} = 2 \sqrt{0,7 * 10^{-3} * 3,5 * \frac{10^{-3}}{\pi}} = 1,77 * 10^{-3} = 1,77 \text{ мм.}$$

Рисунок Г.3 - Входная цепь пейджерного приемника. Схема электрическая принципиальная

Рисунок Г.4 - Размеры рамочной антенны



Сопротивление проводника рамки на высокой частоте, определяемое



скин-эффектом [3]

$$R_s = \sqrt{\pi f \mu / \sigma}$$

где σ — погонная проводимость материала проводника рамки, для меди $\sigma = 5,813 \cdot 10^7$ См/м,

μ — магнитная проницаемость материала проводника рамки, для меди $\mu = 471 \cdot 10^{-7}$ А/м.

$$R_s = \sqrt{71 \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot 471 \cdot 10^{-7} / (5,813 \cdot 10^7)} = 3,29 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Средняя длина проводника, образующего рамку:

$$l_{cp} = (a-h+b-h)*2 = (40-0,7+15-0,7)*2 = 107,2 \text{ мм.}$$

Периметр поперечного сечения проводника:

$$l_n = (h+w)2 = (0,7+3,5)2 = 8,4 \text{ мм.}$$

Сопротивление потерь рамки [3]

$$R_A = R_s l_{cp} / l_n = 3,29 * 10^{-3} * 107,2 * 10^{-3} / (8,4 * 10^{-3}) = 42,0 * 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Площадь рамки

$$S = ab = 40 * 10^{-3} * 15 * 10^{-3} = 6 * 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Сопротивление излучения рамки

$$R_{\Sigma} = 20((2\pi/\lambda)^2 S)^2 = 20((2\pi/1,88)^2 * 6 * 10^{-4})^2 = 0,896 * 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Общее активное сопротивление рамки (рисунок Г.5а)

$$R_{вц} = R_{\Sigma} + R_A = 0,896 * 10^{-3} + 42,0 * 10^{-3} = 42,9 * 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Эффективность антенны

$$\eta = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_A} = \frac{0,896 * 10^{-3}}{0,896 * 10^{-3} + 42,0 * 10^{-3}} = 0,021.$$

Индуктивность рамки [3]

$$L = \frac{N^2 \mu}{\pi} \left\{ a * \ln \left[\frac{2ab}{r(a+l_c)} \right] + b * \ln \left[\frac{2ab}{r(b+l_c)} \right] + 2[r+l_c-(a+b)] \right\}$$

ГДЕ $N = I$ - число витков рамки,

$r = d_0/2 = 1,77 * 10^{-3}/2 = 0,885 * 10^{-3} \text{ м}$ - эквивалентный радиус проводника рамки,

$$L = \frac{1 * 4\pi * 10^{-7}}{\pi} \left\{ 40 * 10^{-3} * \ln \left[\frac{2 * 40 * 10^{-3} * 15 * 10^{-3}}{0,885 * 10^{-3} * 40 * 10^{-3} + 42,7 * 10^{-3}} \right] + 15 * 10^{-3} * \ln \left[\frac{2 * 40 * 10^{-3} * 15 * 10^{-3}}{0,885 * 10^{-3} * (15 * 10^{-3} + 42,7 * 10^{-3})} \right] + 2[0,885 * 10^{-3} + 42,7 * 10^{-3} + (40 * 10^{-3} + 15 * 10^{-3})] \right\} = 5,46 * 10^{-8} = 0,0546 \text{ мкГн.}$$

Реактивное сопротивление рамки

$$X_L = 2 \pi f L = 2 * \pi * 160 * 10^6 * 5,46 * 10^{-8} = 54,9 \text{ Ом.}$$

Требуемое значение эквивалентной емкости контура

$$C_s = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{(2\pi * 160 * 10^6)^2 * 5,46 * 10^{-8}} = 1,81 * 10^{-11} = 18,1 \text{ пФ}$$

Приложение Д
(справочное)

Варианты заданий на проектирование

Таблица Д.1 – Варианты заданий

Наименование параметров	Варианты заданий														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Тип аппаратуры	Радиоприемное устройство радиостанции сухопутной подвижной службы														
	В	С	В	С	Н	Н	Н	С	В	Н	С	В	Н	В	Н
2. Диапазон рабочих частот f_c , МГц	30-50	30-80	142-174	142-174	148-149	171-173	512	40	40	40	80	80	80	160	140
Количество каналов							40	40	4	4	20	10	4	4	20
Шаг сетки частот		1 кГц	10 кГц												
3. Относительная нестабильность несущей частоты принимаемых сигналов b_c	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	15×10^{-6}	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
4. Вид модуляции или класс излучения	ЧМ	F3E	ЧМ	ЧМ	F3E	ЧМ	ЧМ	ЧМ	ЧМ	ЧМ	F3E	F3E	F3E	ЧМ	ЧМ
5. Максимальный коэффициент модуляции m															
Максимальная девиация частоты Δf , кГц	5	5	7	7	5	7									
Индекс модуляции m							5	5	4	3				5	5
6. Нижняя частота модуляции F_n , кГц	0,3	0,3			0,3						0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Верхняя частота модуляции F_v , кГц	3,4	3,4	(Т)	(Т)	3,0	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	(Т)	7,0	7,0	7,0	3,4	2,7

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
7. Динамический диапазон принимаемых сигналов D , дБ	60	60	40	50	60	40	60	65	65	50	70	60	60	60	50
8. Чувствительность E_A , мкВ при отношении с/ш на выходе приемника $\gamma_{\text{вых}}$, (дБ)	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,4	2	1,7	1,7	1,7	1,2	1,7	2,4	1,0	2,5
	10:1	20:1	5:1	6:1	(12)	(12)	(12)	(12)	10:1	9:1	(12)	(12)	(12)	(10)	(14)
9. Ослабление зеркального канала $Se_{\text{зк}}$, дБ	70	80	70	80	70	75	70	80	60	60	80	70	60	70	50
10. Избирательность по соседним каналам $Se_{\text{ск}}$, дБ, при расстройке соседнего канала $\Delta f_{\text{ск}}$, кГц	80	80	60	75	60	65	60	80	70	60	80	60	60	60	55
	25	25	25	25	25	25								50	50
11. Тип оконечного устройства	ТЛФ	Л	Л	Г	Г	Г	МГ	Г/Л	Г/Л	Г	Г/Л	Г/Л	Г	Г	Г
12. Сопротивление нагрузки R_H , Ом	500	600	600	8				8/60 0	4/60 0		4/60 0	8/60 0	16	8	4
13. Номинальное выходное напряжение, В (мощность, мВт)	11	0,5	(0,3)	0,5				0,5/ (1)	1/ (1,5)					(0,5)	0,7

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14. Допустимые уровень частотных искажений, дБ	4	4	3	3	3	4	3	3	2	2	2	2	3	3	2
коэффициент гармоник k_{Γ} , %	10	9	15	10	9	8	2	5	4	5	1,5	3	7	7	5
15. Допустимое изменение выходного напряжения B , дБ	3	5	4	6	4	5	3	3	3	4	3	4	5	3	3
16. Источник питания:															
-сеть 220 В, 50 Гц		+		+				+			+				
-бортсеть автомобиля	+		+						+			+		+	
-аккумулятор	+	+		+	+	+	+	+		+	+		+		+
17. Напряжение питания $E_{\text{п}}$, В	27		12	12	12	6		27			27				
18. Антенна:															
-штырь, длина	+		+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+
	2 м		$\lambda/4$	$\lambda/4$			20 см		2 м	15 см			30 см		
-штырь с противове- сом		+						+			+				
-волновой канал															
- рамка															
19. Фидер:															
сопротивление $R_{\text{ф}}$, Ом	75		75	75				50	50		50	50		50	
Длина l , м	0,9	20	4	10				15	1,3		12	1,4		0,95	

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1. Тип аппаратуры	РПpУ СПС					РПp БСПС					Пейджер				
	Н	С	В	Н	В										
2. Диапазон рабочих частот f_c , МГц	1,6-3,2	1,6-8	1,6-8	3,2-8	15-17	159	174	403	450	146	148	156	159	404	410
Количество каналов						40	60	50	40						
Шаг сетки частот															
3. Относительная нестабильность несущей частоты принимаемых сигналов b_c	$1,5 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$
4. Вид модуляции или класс излучения, (скорость передачи, Бод)	ОБП	ОБП	ОБП	ОБП	ОБП	16K0 F3E	F3E	16K0 F3E	F3E	16K0 F1D	ЧТ (512) F3E	16K0 F3E	ЧТ (1200) F3E	16K0 F1D	ЧТ (2400)
5. Максимальный коэффициент модуляции m	0,8	0,9	0,9	0,9	0,85										
Максимальная девиация частоты Δf , кГц							4		4		4,5		4,5		4,5
Индекс модуляции m															
6. Нижняя частота модуляции F_n , кГц	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4		0,5		0,4			0,3			
Верхняя частота модуляции F_v , кГц	3,4	3,4	3,4	3,4	3,1		2,3		2,4			3,4			
7. Динамический диапазон принимае-	60	70	70	60	65	60	70	60	50	40	30	50	40	40	50

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8. Чувствительность E_A , мкВ (мВ/м)	1,2	1,2	1,5	1,7	2	2	1,4	2	1,5	(5)	(10)	(5)	(10)	(5)	(10)
при отношении с/ш на выходе приемника $\gamma_{\text{вых}}$, дБ	12	12	12	12	12	12	12	12	12						
9. Ослабление зеркального канала $Se_{\text{зк}}$, дБ	60	70	70	60	65	70	60	70	70	70	70	60	70	60	70
10. Избирательность по соседним каналам $Se_{\text{ск}}$, дБ,	60	70	70	60	60	70	60	70	60	60	70	60	70	70	60
при расстройке соседнего канала $\Delta f_{\text{ск}}$, кГц	20	20	20	20	20	25	12,5	25	12,5	25	25	25	25	25	25
11. Тип оконечного устройства	Г	Л	Л	Г	Г	Г	Г	Г	Г			МГ			
12. Сопротивление нагрузки R_H , Ом		600	600		8	16	4								
13. Номинальное выходное напряжение, В (мощность, Вт)		1	2		0,5	(1)	(2)								

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
14. Допустимые уровень частотных искажений, дБ	6	6	6	6	3	3	6	3	6			3			
коэффициент гармоник k_{Γ} , %	10	7	7	7	4	6	4	6	5			10			
15. Допустимое изменение выходного напряжения B , дБ	6	6	3	6	3	6	4	6	5			6			
16. Источник питания: -сеть 220 В, 50 Гц -бортсеть автомобиля -аккумулятор		+				+	+	+	+						
			+		+										
	+	+		+			+	+		+	+	+	+	+	+
17. Напряжение питания E_{Π} , В										3		3		1,5	
18. Антенна: -штырь, длина -штырь с противовесом -волновой канал - рамка	+	+	+	+	+		+		+						
						+		+							
										+	+	+	+	+	+
19. Фидер: сопротивление R_{Φ} , Ом		50	50				50	75							
Длина l , м		15	1,5		1	20	15	25	14						

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1. Тип аппаратуры	Пейджер		ПрБСТС				ПрСУВД				ПрТС				СРПр
							БАВ	БАВ	Н	Н	Н	Н	Н	Н	А
2. Диапазон рабочих частот f_c , МГц	430	456	192,5	300	196	198	118	125	120	130	200	174	475	403	27
Количество каналов			260	400	100	150	80	120	20	50	40	20	20	20	20
Шаг сетки частот															
3. Относительная не- стабильность несущей частоты принимаемых сигналов b_c	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$
4. Вид модуляции или класс излучения	16K0 F3E	16K0 F1D	ФМ	ЧМ	ФМ	ЧМ	ЧМ	ЧМ	ЧМ	ЧМ	ФМ	ФМ	ФМ	ФМ	A3E, F3E
5. Максимальный коэффициент модуляции m															0,9
Максимальная девиация частоты Δf , кГц			2,5	5	2,5	2,5					2,5	5	5	2,5	1,8
Индекс модуляции m							3	3	3	3					
6. Нижняя частота модуляции F_H , кГц	0,3		0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Верхняя частота модуляции F_B , кГц	2,7		2,55	3,4	2,7	2,6	2,7	3,0	3,1	2,8	2,55	3,4	2,7	2,5	2,7
7. Динамический диапазон принимаемых сигналов D , дБ	50	60	60	60	60	50	70	65	65	50	50	60	50	60	60

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
8. Чувствительность E_A , мкВ (мВ/м) при отношении с/ш на выходе приемника $\gamma_{\text{вых}}$, дБ	(5)	(10)	1	0,5	2	1,5	2	3	2	4	1	0,8	1,5	1,2	5
			12	12	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
9. Ослабление зеркального канала $Se_{\text{зк}}$, дБ	70	70	70	70	60	50	60	70	50	60	60	60	70	60	55
10. Избирательность по соседним каналам $Se_{\text{ск}}$, дБ при расстройке соседнего канала $\Delta f_{\text{ск}}$, кГц	70	70	70	70	55	50	60	50	50	50	60	60	60	70	40
	25	25	12,5	25	12,5	12,5	27	27	27	27	12,5	25	25	12,5	
11. Тип оконечного устройства	МГ		Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г	Г
12. Сопротивление нагрузки R_H , Ом			4	16	8	4	16	4	4	8					4
13. Номинальное выходное напряжение, В (мощность, Вт)			(2)	(4)	(1,5)	(3)	2,5	0,5	0,7	0,7					0,3
14. Допустимые уровень частотных искажений, дБ	3		3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
коэффициент гармоник k_g , %	10		5	6	4	2	3	4	7	10	7	7	5	4	3
15. Допустимое изменение выходного напряжения B , дБ	3		3	6	4	3	5	6	3	3	3	6	3	4	3

Продолжение таблицы Д.1

Наименование параметров	Варианты заданий														
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
16. Источник питания: -сеть 220 В, 50 Гц -бортсеть автомобиля (самолета) -аккумулятор			+	+	+	+									
							(+)	(+)							+
	+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	
17. Напряжение питания $E_{\text{п}}$, В						27									
18. Антенна: -штырь, длина -штырь с противовесом -волновой канал -рамка			+		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
				+		+									
	+	+													
19. Фидер: сопротивление $R_{\text{ф}}$, Ом Длина l , м			50			75									
			20	10	30	25	1	1,5							1

Примечания.

1. Условные обозначения в таблице: С - стационарная, В - возимая, Н - носимая, БАв – бортовая авиационная, А – автомобильная, Г – громкоговоритель, МГ – малогабаритный громкоговоритель, Л – линия, ТЛФ – телефон.

2. Обозначения радиоприемников: РПрУСПС - радиоприемное устройство радиостанции сухопутной подвижной службы, РПрБСПС - радиоприемник базовой станции пейджинговой системы, ПрБСТС – приемник базовой станции транкинговой системы, ПрСУВД - приемник системы управления воздушным движением, ПрТС - приемник транкинговой системы, СРПр - связной радиоприемник.

Оглавление

Введение	2
1. Проектирование радиоприемных устройств.....	3
1.1 Выбор и расчет структурной схемы	3
1.2 Выбор и расчёт принципиальной схемы.....	8
1.2.1 Выбор элементной базы.....	9
1.2.2 Выбор контурных систем и входной цепи.....	12
1.2.3 Выбор и расчёт усилителя радиочастоты	15
1.2.4 Выбор фильтра промежуточной частоты.....	17
1.2.5 Выбор и расчет преобразователя частоты и гетеродина	18
1.2.6 Выбор и расчет детектора	20
1.2.7 Выбор и расчет системы автоматического регулирования усиления	22
1.2.8 Выбор и расчет системы автоматической под стройки частоты	23
1.2.9 Проектирование устройств управления, контроля, настройки и индикации.....	24
1.2.10 Выбор источника питания и громкоговорителя	25
1.2.11 Расчет каскадов	26
1.3 Разработка мероприятий по настройке и налаживанию радиоприемника	29
1.4 Разработка конструкторской части проекта.....	29
2. Методические вопросы учебного проектирования.....	33
2.1 Цель, задачи и содержание учебного проектирования.....	33
2.2 Задание на проектирование.....	34
2.3 Работа над проектом.....	35
2.4 Содержание и оформление расчетно-пояснительной записки и чертежей	36
2.4.1 Содержание пояснительной записки.....	36
2.4.2 Оформление пояснительной записки.....	38
2.4.3 Графическая часть проекта.....	40
2.5 Перечень вопросов для самопроверки и самоподготовки к защите проекта	41
Заключение	48
Библиографический список	49
Приложения	51
Приложение А. Параметры фильтров.....	51
Приложение Б. Логарифмические шкалы.	60
Приложение В. Пример выполнения перечня элементов.....	62
Приложение Г. Пример расчета пейджерного приемника.....	64
Приложение Д. Варианты заданий на проектирование.....	73

Министерство образования и науки Российской Федерации
Муромский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(МИ ВлГУ)**
Отделение среднего профессионального образования

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА**

для студентов специальности

11.02.01 Радиоаппаратостроение

Программа подготовки специалистов среднего звена

Составитель:
Коровин А.Н.

Муром, 2018

Содержание

1.	Общее техническое описание лабораторной учебной стойки «УРПС»	3
1.1.	Описание конструкции передней панели стационарного блока	5
1.2.	Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование принципа работы супергетеродинного приемника»	7
1.3.	Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ»	9
1.4.	Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование амплитудных и частотных детекторов»	11
1.5	Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование преселектора»	13
2.	Порядок выполнения лабораторных работ	15
2.1	Лабораторная работа №1. «Исследование принципа работы супергетеродинного приемника»	15
2.2.	Лабораторная работа №2. «Исследование усилителя промежуточной частоты»	18
2.3.	Лабораторная работа №3. «Исследование амплитудного детектора»	22
2.4	Лабораторная работа №4. «Исследование системы АРУ»	27
2.5	Лабораторная работа №5. «Исследование детектора ЧМ сигнала»	31
2.6	Лабораторная работа №6. «Исследование избирательности приемника по соседнему и зеркальному каналам»	34
2.7	Лабораторная работа №7. «Исследование преселектора»	37
2.8	Лабораторная работа №8. «Исследование системы фазовой автоподстройки частоты»	46

1. Общее техническое описание лабораторной учебной стойки

«УРПС»

Отличительной особенностью лабораторной установки является использование современной элементной базы и, в частности, специализированной микросхемы реализующей основные функции супергетеродинного приемника

Лабораторная установка формирует одно рабочее место для двух студентов и обеспечивает проведение серии экспериментов по теме «Узлы радиоприемных систем» учебного лабораторного практикума радиотехнических специальностей.

Лабораторная установка условно состоит из базового модуля и трех сменных блоков, позволяющих всесторонне и целостно изучить фундаментальные принципы, лежащие в основе функционирования супергетеродинного приемника.

Базовый модуль состоит из следующих узлов:

«Питание модулей», включающий в себя блок питания и генерирующий все необходимые напряжения питания сменных модулей;

«Генератор ВЧ / Частотомер», включающий в себя перестраиваемый по частоте микропроцессорный генератор гармонических колебаний с возможностью внутренней амплитудной и частотной модуляции, функциями плавной регулировки глубины модуляции и возможностью выбора шага настройки частоты, а также функциями цифрового частотомера;

«Динамик» включающий в себя усилитель низкой частоты и высокоэффективный громкоговоритель.

Учебная стойка «УРПС» комплектуется сменными блоками:

«Исследование принципа работы супергетеродинного приемника»;

«Исследование амплитудных и частотных детекторов»;

«Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ»;

«Исследование преселектора».

Установка выполнена в климатическом исполнении УХЛ, категория 4.2 ГОСТ 15150-69 для эксплуатации в помещении при температуре от 10°C до 35°C и относительной влажности до 80 %.

Напряжение питания	~220 В.
Мощность	не более 50 Вт
Частота тока питания,	50±2Гц
Масса стационарного и сменных блоков	не более 10 кг.

Порядок сборки и включения установки

Собрать лабораторную установку, следуя инструкции по сборке;

-после распаковки установку выдержать 24 часа в комнатных условиях;

-провести внешний осмотр установки и убедиться в отсутствии механических повреждений корпуса и шнура питания;

-подсоединить шнур питания к установке;

Примечание: контакт защитного заземления подключен к центральному электроду разъема электропитания стандарта «EURO»;

-шнур питания подключить к однофазной сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц и заземленным центральным электродом по стандарту «EURO».

Запрещается эксплуатировать установку при снятом кожухе.

Внимание! Все операции по коммутации по установке сменных блоков необходимо осуществлять только при выключенном питании лабораторной установки!

1.1. Описание конструкции передней панели стационарного блока.

В состав стационарного блока входят все необходимые для проведения серии экспериментов источники сигналов и питающих напряжений, а также усилитель низкой частоты (УНЧ) с громкоговорителем.



Рис. 1.1. Вид передней панели стационарного блока.

Здесь цифрами красного цвета обозначены:

1. Переключатель включения электропитания лабораторной установки.
2. Сетевой предохранитель 1А.
3. Контакты Х4 и Х5 подключения шлейфа питания сменных модулей.
4. Коаксиальный контакт входа Усилителя нижней частоты.
5. Акустический громкоговоритель.
6. Дисплей микропроцессорного Генератора ВЧ / Частотомера.

На дисплей выводится:

Частота генератора, Шаг установки частоты генератора, Тип модуляции (АМ, ЧМ), Показания частотомера.

7. Кнопка уменьшения текущей частоты Генератора ВЧ.
8. Кнопка увеличения текущей частоты Генератора ВЧ.
9. Кнопка выбора шага уменьшения/увеличения частоты Генератора ВЧ.
10. Кнопка выбора частоты модуляции Генератора ВЧ (АМ, ЧМ).
10. Кнопка выбора вида модуляции (АМ , ЧМ).
11. Регулятор установки Девиации частоты Частотной модуляции. Активен при выбранном режиме модуляции ЧМ.
12. Регулятор установки Глубины Амплитудной модуляции. Активен при выбранном режиме модуляции АМ.
13. Регулятор установки Амплитуды сигнала на выходе генератора Выход ВЧ 0 dB.
14. Коаксиальный контакт входа Частотомера.
15. Коаксиальный контакт выхода Генератора ВЧ.
16. Коаксиальный контакт выхода аттенюатора -20dB (10:1 по напряжению) Генератора ВЧ.

1.2. Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование принципа работы супергетеродинного приемника».

В основе конструкции сменного блока заложена специализированная микросхема супергетеродинного приемника с однократным преобразованием «вниз» по частоте. С целью снижения возможных наводок на мало-сигнальные цепи приемника, входной сигнал приемника подается на встроенный экранированный аттенюатор, снижающий амплитуду входного сигнала на -60 дБ (1000:1) по напряжению, а контрольные точки приемника выведены через буферные усилители с коэффициентом передачи по напряжению около +20 дБ (1:10).

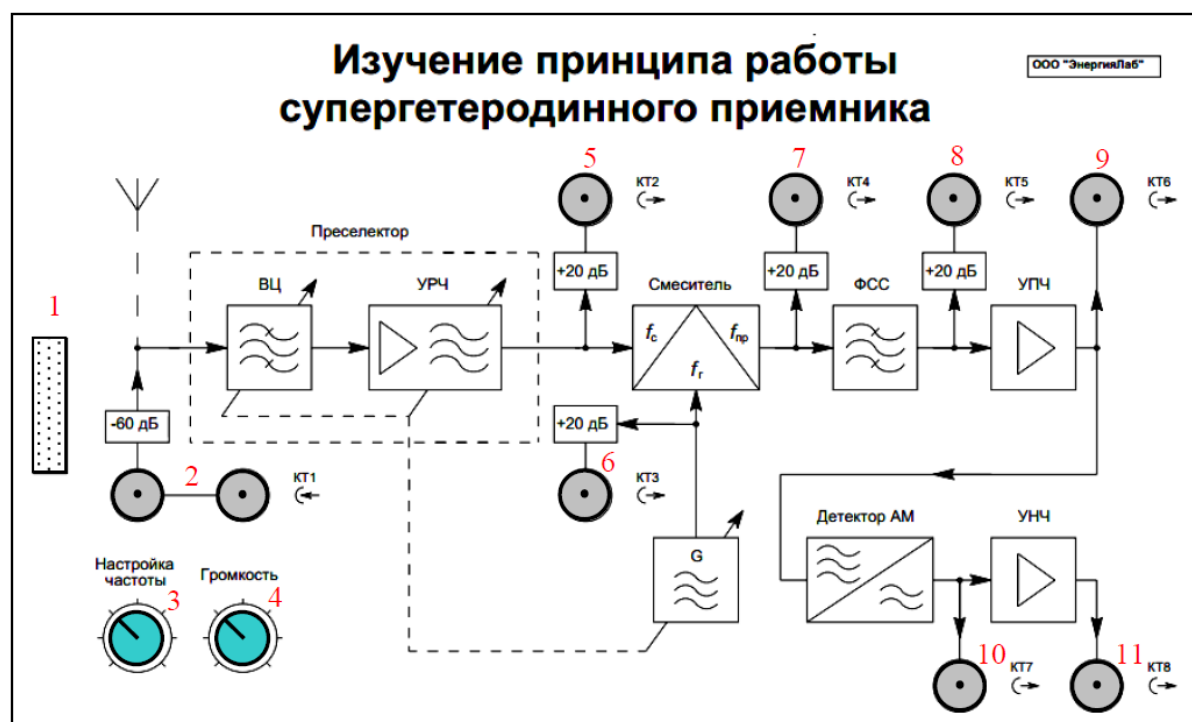


Рис. 1.2 Вид передней панели сменного блока «Исследование принципа, работы супергетеродинного приемника». Здесь цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа электропитания сменной панели.
Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключа разъема!
- 2 Коаксиальные контакты аттенюатора входа приемника.

3. Регулятор установки частоты настройки приемника. Конструкцией предусмотрена согласование изменения частоты гетеродина (G) с перестройкой частотной характеристики Преселектора.
4. Регулятор установки амплитуды звукового сигнала на выходе (КТ8) Усилителя низкой частоты приемника .
5. Контрольная точка сигнала выхода Преселектора.
6. Контрольная точка сигнала гетеродина (G).
7. Контрольная точка сигнала выхода Смесителя.
8. Контрольная точка сигнала выхода Фильтра Сосредоточенной Селекции (кварцевого полосового фильтра).
9. Контрольная точка выхода Усилителя промежуточной частоты.
10. Контрольная точка сигнала выхода детектора Амплитудной модуляции.
11. Контрольная точка сигнала выхода Усилителя низкой частоты.

1.3. Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ».

Конструкция сменного блока реализует функционально-законченные узлы усилителя промежуточной частоты приемника с возможностью коммутации фильтров, охваченного системой Автоматической Регулировки Усиления с регулируемой глубиной обратной связи.

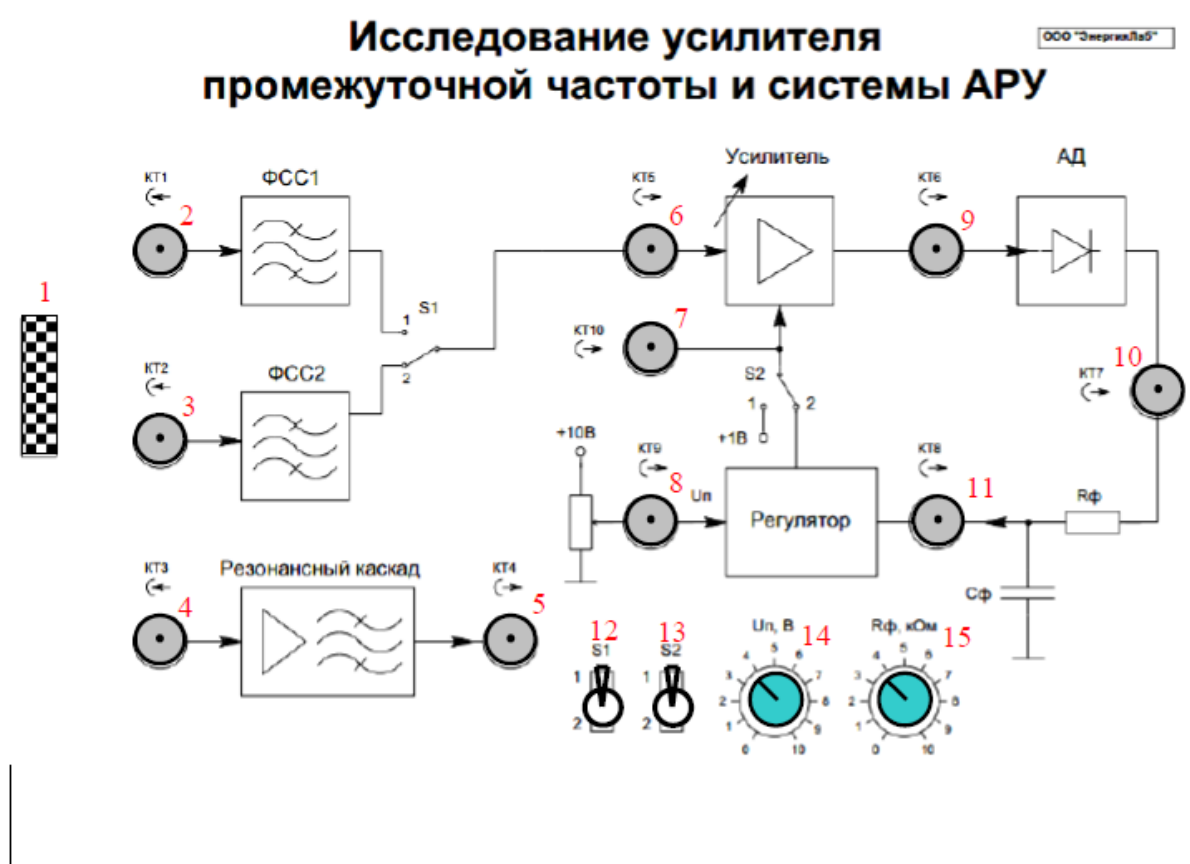


Рис. 1.3 Вид передней панели сменного блока «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ». Здесь цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа электропитания сменной панели.
Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключа разъема!
2. Коаксиальный контакт входа пьезоэлектрического полосового Фильтра Сосредоточенной Селекции (ФСС1) с центральной частотой 455 кГц и полосой пропускания 9 кГц.

3. Коаксиальный контакт входа электромеханического полосового Фильтра Сосредоточенной Селекции (ФСС2) «Надежда» с центральной частотой 465 кГц и полосой пропускания 6 кГц.

4. Коаксиальный контакт входа резонансного усилительного каскада с одиночным LC контуром.

5. Коаксиальный контакт выхода резонансного усилительного каскада с одиночным LC контуром.

6. Контрольная точка КТ5 входа усилителя с Автоматической Регулировкой Уровня (АРУ) сигнала.

7. Контрольная точка КТ10 сигнала управления усилением системы АРУ.

8. Контрольная точка КТ9 установки опорного напряжения Регулятора системы АРУ

9. Контрольная точка КТ6 сигнала выхода усилителя с АРУ.

10. Контрольная точка КТ7 сигнала выхода Амплитудного Детектора.

11. Контрольная точка сигнала выхода фильтра системы АРУ.

12. Переключатель S1 коммутации фильтров УПЧ. В верхнем положении «1» переключателя S1 подключен фильтр ФСС1, в нижнем положении «2» подключен фильтр ФСС2.

13. Переключатель S2 режима цепи обратной связи цепи АРУ. В нижнем положении «2» обратная связь замкнута, в верхнем положении «1» - разомкнута

14. Регулятор установки величины порогового напряжения ип Регулятора системы АРУ.

15. Регулятор установки величины сопротивления фильтра Яф системы АРУ.

1.4. Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование амплитудных и частотных детекторов».

Сменный блок объединяет функционально-законченные узлы амплитудного и частотного детектирования и необходимые цепи исследования их нагрузочных характеристик.

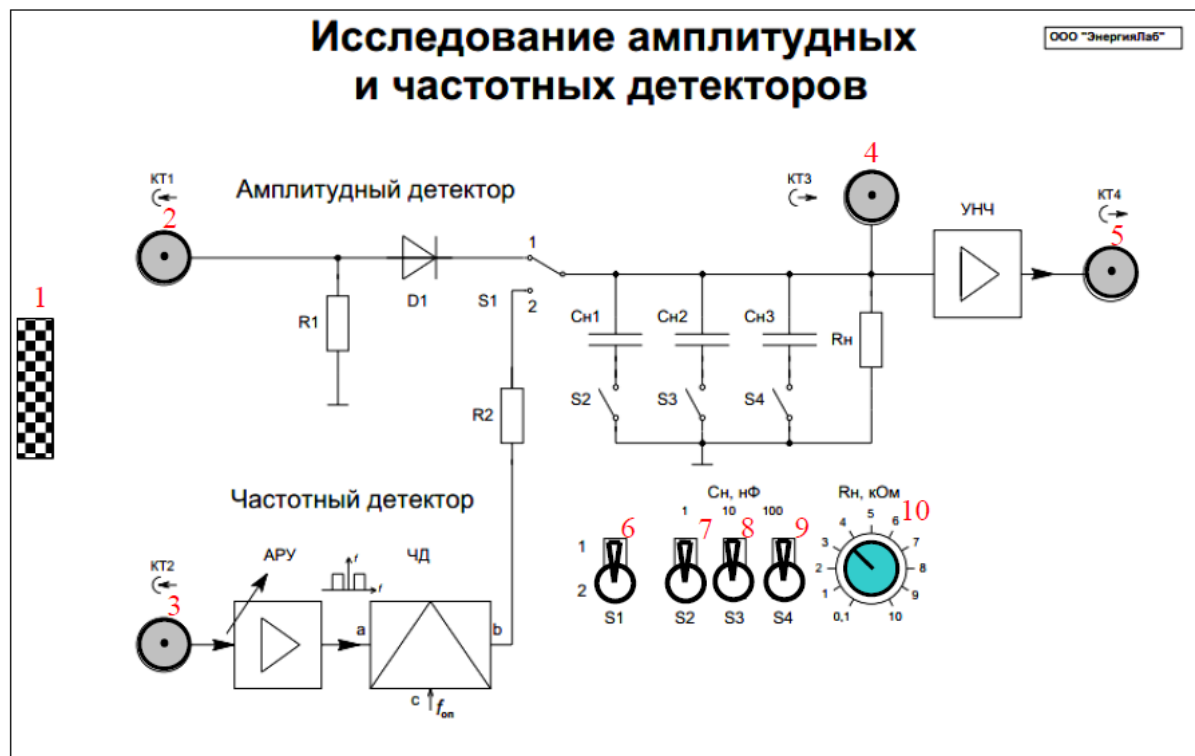


Рис. 1.4 Вид передней панели сменного блока «Исследование амплитудных и частотных детекторов». Здесь цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа электропитания сменной панели.
Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключа разъема!
2. Коаксиальный контакт входа Амплитудного детектора
3. Коаксиальный контакт входа Частотного детектора.
4. Контрольная точка сигнала в активно-реактивной нагрузке детекторов.
5. Коаксиальный контакт выхода Усилителя Нижних Частот нагрузки детекторов

6. Переключатель входа нагрузки детекторов. В верхнем положении «1» к нагрузке подключен Амплитудный детектор, в нижнем положении «2» - Частотный детектор.

7. Переключатель установки величины емкости нагрузки. В верхнем положении к нагрузке подключена емкость номиналом 1нФ, в нижнем положении - отключена.

8. Переключатель установки величины емкости нагрузки. В верхнем положении к нагрузке подключена емкость номиналом 10 нФ, в нижнем положении - отключена.

9. Переключатель установки величины емкости нагрузки. В верхнем положении к нагрузке подключена емкость номиналом 100 нФ, в нижнем положении - отключена.

10. Регулятор установки величины сопротивления нагрузки.

1.5. Описание конструкции передней панели сменного блока «Исследование преселектора».

Сменный блок содержит модули эквивалентов приемных антенн, управляемые резонансные входные цепи с емкостной и индуктивной связью и резонансный перестраиваемый Усилитель Радио Частоты (УРЧ).

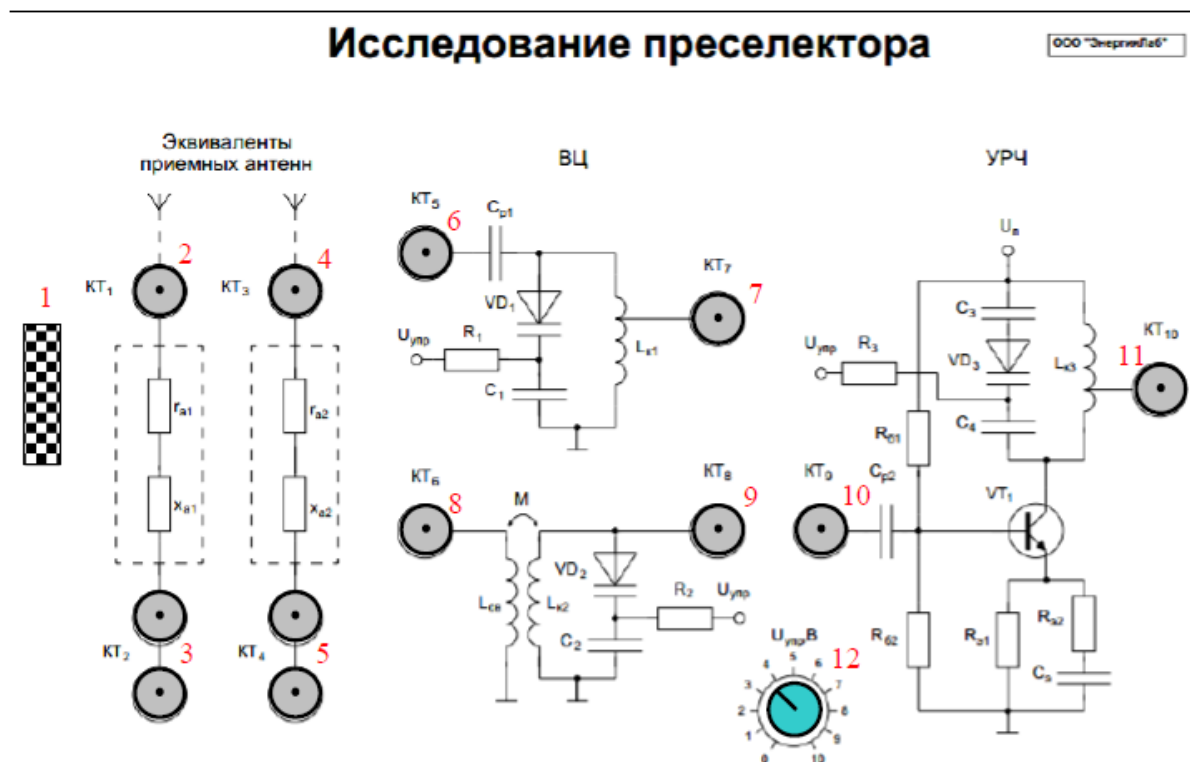


Рис. 1.5 Вид передней панели сменного блока «Исследование преселектора». Здесь цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа электропитания сменной панели.

Внимание! Шлейф устанавливать согласно ключа разъема!

2. Коаксиальный контакт КТ1 входа первого эквивалента (высокоомной) приемной антенны. .

3. Коаксиальный контакт КТ2 выхода первого эквивалента (высокоомной) приемной антенны.

4. Коаксиальный контакт КТ3 входа второго эквивалента (низкоомной) приемной антенны.

5. Коаксиальные контакты КТ4 выхода второго эквивалента (низкоомной) приемной антенны.

6. Коаксиальный контакт КТ5 входа Входной цепи (ВЦ) с емкостной связью.

7. Коаксиальный контакт КТ7 выхода Входной цепи (ВЦ) с емкостной связью.

8. Коаксиальный контакт КТ6 входа Входной цепи (ВЦ) с трансформаторной связью.

9. Коаксиальный контакт КТ8 выхода Входной цепи (ВЦ) с трансформаторной связью.

10. Коаксиальный контакт КТ9 входа Усилителя Радио Частоты (УРЧ).

11. Коаксиальный контакт КТ10 выхода Усилителя Радио Частоты (УРЧ).

12. Регулятор установки управляющего напряжения Уупр настройки резонансной частоты Входных цепей и Усилителя Радио Частоты.

2. Порядок выполнения лабораторных работ.

2.1 Лабораторная работа №1. «Исследование принципа работы супергетеродинного приемника».

В лабораторной работе используется базовый блок и сменный блок «Изучение принципа работы супергетеродинного приемника»

1. Установите сменный блок «Изучение принципа работы супергетеродинного приемника» справа от базового блока.

2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 1.1) с разъемом питания (1 рис. 1.2) сменного блока.

3. С помощью коаксиального кабеля соедините разъем входа приемника «КТ1» (2 рис. 1.2) сменного блока с разъемом «Выход ВЧ» «-20dB» (16 рис. 1.1.) панели Генератора ВЧ базового модуля. Установить все ручки регуляторов на панели Генератора ВЧ в крайнее левое положение.

4. С помощью коаксиального кабеля соедините разъем «КТ3» (6 рис. 1.2) выхода гетеродина сменного блока с разъемом «Частотомер» (14 рис. 1.1) панели Генератор ВЧ/Частотомер базового модуля. С помощью коаксиального кабеля соедините разъем «КТ6» (9 рис. 1.2) выхода УПЧ сменного блока с первым каналом внешнего осциллографа. Соединить вход второго канала внешнего осциллографа к контакту КТ4 (7 рис. 1.2) выхода Смесителя.

5. С помощью коаксиального кабеля соедините разъем «КТ8» (11 рис. 1.2) выхода УНЧ сменного блока с разъемом «Вход» (4 рис. 1.1) панели Динамик базового модуля, регулятор «Громкость» (4 рис. 1.2) сменного блока установить в крайнее левое положение.

6. Установив переключатель «Сеть» (1 рис. 1.1) базового блока в верхнее положение, включить питание лабораторной установки.

Повернуть по часовой стрелке регулятор «Громкость» (4 рис. 1.2) сменной панели и установить его в среднее положение. Из

громкоговорителя должен быть слышен характерный шум радиоприемника.

7. Установить регуляторы «Амплитуда» (13 рис. 1.1) и «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) в среднее положение. Последовательно нажимая на кнопку установки режима Генератора ВЧ «Модуляция» (10 рис. 1.1), наблюдая за индикатором панели Генератор ВЧ/Частотомер (6 рис. 1.1) установить режим генерации Амплитудно - Модулированных колебаний «АМ».

С помощью кнопок управления Генератора ВЧ «+», «-» и «Шаг частоты» (7,8,9 рис. 1.1), наблюдая за дисплеем Генератора ВЧ/Частотомера (6 рис. 1.1), установить частоту 1100 кГц.

Плавное вращая регулятор «Настройка частоты» (3 рис. 1.2) сменного блока и наблюдая за показаниями дисплея Частотомера (6 рис. 1.1) установите частоту гетеродина 1555 кГц, при этом из громкоговорителя должен начать звучать тональный звук с частотой около 1 кГц. При необходимости с помощью регулятора «Настройка частоты» подстройте частоту по максимальному сигналу громкоговорителя.

8. Супергетеродинный прием основан на принципе преобразования (переноса) частоты принимаемого сигнала, осуществляемого на нелинейном элементе - смесителе. На него одновременно подается гармоническое колебание с гетеродина и принимаемый сигнал. В результате нелинейного преобразования (умножения) на выходе смесителя появляются составляющие, имеющие частоту равную сумме частоты принимаемого сигнала и частоты гетеродина (преобразование «вверх») и разности частот (преобразование «вниз»). В настоящей лабораторной установке, реализующей все функции супергетеродинного приемника, с помощью высокоизбирательного полосового фильтра (фильтра промежуточной частоты) выделяется разностная частотная составляющая информационного сигнала.

Для исследования принципа работы смесителя необходимо занести в отчет значение частоты входного сигнала приемника F^{\wedge} (показания дисплея Генератора ВЧ), значение частоты Гетеродина F^{\wedge} (показания дисплея Частотомера). Для большей наглядности рекомендуется занести в отчет осциллограммы сигнала на выходе смесителя (КТ4- первый канал осциллографа) и на выходе УПЧ (КТ6 - второй канал осциллографа). На экране осциллографа наблюдать сигнал «перемножения» входного сигнала и сигнала Гетеродина. Сделать вывод о нелинейности преобразования.

Примечание: В случае использования цифрового осциллографа с режимом спектроанализатора, весьма полезным будет наблюдение спектра сигнала на входе и выходе УПЧ.

Затем отсоединить кабель от контакта КТ3 выхода Гетеродина (6 рис. 1.2) и соединить контакт «Частотомер» (14 рис. 1.1) базового блока с контактом выхода ФСС КТ5 (8 рис. 1.2).

На экране Частотомера будет индицироваться значение частоты преобразованного «вниз» информационного сигнала $F_{н4}$ равный центральной частоте полосового фильтра ФСС (около 455 кГц).

Убедится, что смеситель выполняет функцию «переноса» частоты сигнала из высокочастотной в низкочастотную часть спектра:

$$f_{ГЕТ} - f_{ВХ} = f_{ПЧ}$$

Если показания частотомера сильно отличаются от номинальных (более чем на 10 кГц), необходимо более точно установить частоту генератора ВЧ и, при необходимости, увеличить уровень сигнала с помощью регулятора «Уровень ВЧ».

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

2.2. Лабораторная работа №2. «Исследование усилителя промежуточной частоты».

В лабораторной работе используется базовый блок и сменный блок «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ».

1. Установите сменный блок «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ» справа от базового модуля.

2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 1.1) с разъемом питания (1 рис. 1.3) сменного блока.

3. С помощью коаксиального кабеля соедините разъем КТ1 (2 рис. 1.3) входа Фильтра Сосредоточенной Селекции ФСС1 (керамический фильтр) сменного блока с разъемом «Выход ВЧ» «-20dB» (16 рис. 1.1) Генератора ВЧ базового блока. Установить переключатель S1 (12 рис. 1.3) в верхнее положение «1». Так же с помощью коаксиального кабеля соедините разъем КТ6 выхода Усилителя УПЧ (9 рис. 1.3) сменного блока с разъемом входа первого канала осциллографа. Установить в верхнее положение «1» переключатель режима работы системы АРУ S2 (13 рис. 1.1), при этом Автоматическая регулировка уровня будет отключена.

4. Установить в верхнее положение переключатель «Сеть» (1 рис. 1.1) базового блока, при этом будет подано электропитание на цепи лабораторной установки.

5. Установите регулятор «Уровень ВЧ» в среднее положение, а регуляторы «Глубина АМ» и «Глубина ЧМ» в крайнее левое положение. С помощью кнопок установки частоты (7,8,9 рис. 1.1) Генератора ВЧ базового блока, наблюдая за показаниями дисплея Генератора ВЧ (6 рис. 1.1) регуляторов «Частота», установите частоту 455 кГц, при этом показания амплитуда сигнала на экране осциллографа должна изменяться. Изменяя частоту Генератора ВЧ в пределах 435-475 кГц, оперируя регулятором «Уровень ВЧ» (12 рис. 1.1) наблюдая за показаниями осциллографа, установите максимальное значение сигнала около 2 В. (При

значительном превышении этого значения УПЧ входит в нелинейный режим ограничения сигнала, а при значительно меньшем значении - снижается точность измерений).

6. Изменяя частоту Генератора ВЧ в пределах 435-475 кГц, через каждые 1 кГц, по показаниям Вольтметра (16 рис. 1.1) измерьте значение сигнала на выходе УПЧ $U_{\text{вых}}$. Экспериментальные значения занесите в таблицу, для каждого значения рассчитайте коэффициент передачи УПЧ как $U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$.

Таблица 2.2.1 Амплитудно-частотная характеристика Усилителя промежуточной частоты с керамическим фильтром ФСС1.

Частота кГц,									
Напряжение на входе УПЧ, В									
Напряжение на выходе УПЧ, В									
Коэффициент передачи УПЧ									

Построить график зависимости коэффициента передачи УПЧ от частоты. Определить неравномерность и полосу пропускания ФСС1.

Исследование электромеханического фильтра «Надежда» ФСС2.

Отсоединить коаксиальный кабель от контакта КТ1 (2 рис. 1.3) и соединить коаксиальный контакт «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 1.1) с контактом КТ2 (3 рис. 1.3) входа ФСС2 электромеханического фильтра «Надежда».

Установить переключатель S1 (12 рис. 1.3) в нижнее положение «2».

Изменяя частоту Генератора ВЧ в пределах 455-475 кГц, аналогично изложенной выше методики, измерить Амплитудно-частотную характеристику УПЧ с ФСС2. Результаты занести в таблицу

Таблица 2.2.2 Амплитудно-частотная характеристика Усилителя промежуточной частоты с электромеханическим фильтром ФСС2.

Частота кГц,									
Напряжение на входе УПЧ, В									
Напряжение на выходе УПЧ, В									
Коэффициент передачи УПЧ									

Построить график зависимости коэффициента передачи УПЧ от частоты. Определить неравномерность и полосу пропускания ФСС2.

Исследование одноконтурного LC-резонансного усилителя.

Отсоединить коаксиальный кабель от контакта КТ1 (2 рис. 1.3) и соединить коаксиальный контакт «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 1.1) с контактом КТ3 (4 рис. 1.3) входа Резонансного усилителя.

Соединить вход первого канала осциллографа с контактом выхода резонансного усилителя КТ4 (5 рис. 1.3).

Изменяя частоту Генератора ВЧ в пределах 445-465 кГц, аналогично изложенной выше методики, измерить Амплитудно-частотную характеристику Резонансного усилителя. Результаты занести в таблицу

Таблица 2.2.3 Амплитудно-частотная характеристика Резонансного усилителя.

Частота кГц,									
Напряжение на входе Резонансного усилителя, В									
Напряжение на									

выходе Резонансного усилителя, В									
Коэффициент передачи									

Построить график зависимости коэффициента передачи Резонансного усилителя от частоты. Определить неравномерность и полосу пропускания ФСС2.

2.3. Лабораторная работа №3. «Исследование амплитудного детектора».

В лабораторной работе используется базовый блок и сменный блок «Исследование амплитудных и частотных детекторов».

1. Установите сменный блок «Исследование амплитудных и частотных детекторов» справа от базового модуля .

2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 1.1) с разъемом питания (1 рис.1.4) сменного блока.

3. С помощью коаксиального кабеля соедините контакт КТ1 (2 рис. 1.4) входа Амплитудного детектора сменного блока с разъемом «Выход ВЧ» «0 dB» (15 рис. 1.1) Генератора ВЧ базового блока. Так же с помощью коаксиального кабеля соедините контакт КТ4 (5 рис. 1.4) выхода Усилителя низкой частоты сменного блока с разъемом входа внешнего осциллографа.

Соединить коаксиальный контакт «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 1.1) с входом второго канала внешнего осциллографа.

4. Установите на сменном блоке регулятор «Rm» (10 рис. 1.4) в крайне правое положение (10 кОм).

Установите в верхнее положение «1» переключатель нагрузки детекторов S1 (6 рис. 1.4).

Установить переключатель выбора емкости «10 нФ» S3 (8 рис. 1.4) в верхнее положение, а переключатели S2 «1 нФ» и S4 «100 нФ» установить в нижнее положение.

Установить переключатель «Сеть» (1 рис. 1.1) в верхнее положение, при этом на цепи лабораторной установки будет подано электропитание.

Установить в крайне правое положение регулятор «Уровень ВЧ» (12 рис. 1.1) Генератора ВЧ базового блока, последовательно нажимая на кнопку «Модуляция» (10 рис. 1.1) Генератора ВЧ установить режим

Амплитудной модуляции «АМ», установить регулятор «Глубина АМ» (10 рис. 1.1) в среднее положение.

С помощью кнопок управления «Частота +», «Частота -», «Шаг частоты» (7,8,9 рис. 1.1) Генератора ВЧ установить частоту 455 кГц.

5. Исследование влияния глубины АМ модуляции на форму выходного сигнала детектора.

Манипулируя оперативными настройками внешнего осциллографа, добейтесь устойчивой осциллограммы на экране. Плавно поворачивая регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) из крайне левого положения в крайне правое, наблюдайте изменение формы выходного сигнала детектора (первый канал осциллографа) и форму входного сигнала (второй канал осциллографа). Обратите внимание на значительные искажения выходного сигнала, возникающие при чрезмерно больших значениях глубины модуляции, приводящее к эффекту «перемодуляции» АМ-сигнала. В свою очередь отметьте, что минимальные искажения наблюдаются при небольших значениях глубины модуляции.

Зарисуйте 3-4 наиболее характерных осциллограммы в отчет.

6 Исследование влияния уровня АМ сигнала на форму выходного сигнала детектора.

Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) в среднее положение. Плавно поворачивая регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.1) из крайне правого положения в крайне левое, на осциллографе наблюдайте изменение формы сигнала на выходе детектора. Обратите внимание, что при малых уровнях входного сигнала, сигнал на выходе детектора претерпевает наибольшие искажения. Зарисуйте 3-4 наиболее характерных осциллограммы в отчет.

7. Исследование влияния уровня модуляции на уровень выходного сигнала детектора.

Установите регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.1) генератора ВЧ в крайнее правое положение, а регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) - в крайнее левое положение.

Измерения осуществляются по следующему порядку: поворачивая регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) из крайне левого положения в правое, и останавливаясь в положениях регулятора, соответствующих рискам лимба шкалы регулятора «Глубина АМ». Затем по экрану первого канала по экрану осциллографа рассчитать текущий индекс амплитудной модуляции. Затем по экрану второго канала осциллографа и фиксируют значение напряжения амплитуды полезного сигнала на выходе детектора. Результаты заносят в таблицу:

Таблица 2.3.1 Зависимость амплитуды информационного сигнала на выходе амплитудного детектора от индекса амплитудной модуляции .

Индекс модуляции, %									
Напряжение на выходе детектора, В									

Построить график зависимости значения напряжения сигнала на выходе детектора от индекса АМ- модуляции.

8. Исследование амплитудной характеристики детектора.

Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) Генератора ВЧ в крайнее левое положение, а регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.1) в крайнее правое.

Соединить контакт «Выход ВЧ» «0 dB» (15 рис. 1.1) Генератора ВЧ с контактом КТ1 (2 рис. 1.4) входа Амплитудного детектора.

Подключить к контакту КТ3 (4 рис. 1.4) выхода Амплитудного детектора вход первого канала осциллографа. Установить открытый вход первого канала осциллографа.

Подключить к контакту «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 1.1) второго канала осциллографа.

Измерения осуществляются по следующему порядку: поворачивая регулятор «Уровень ВЧ» (12 рис. 1.1) из крайне правого положения в левое, и останавливаясь в положениях регулятора, соответствующих рискам лимба шкалы регулятора «Уровень ВЧ», по экрану второго канала осциллографа измерить амплитуду сигнала ВЧ. (Так как измерение амплитуды входного сигнала осуществляется на выходе аттенюатора «-20 dB», то для оценки значения амплитуды сигнала на выходе «0 dB» необходимо умножить измеренную амплитуду на 10). Затем по экрану первого канала осциллографа измеряют постоянную составляющую сигнала на выходе Амплитудного детектора. Результаты занести в таблицу:

Таблица 2.3.2. Амплитудная характеристика Амплитудного детектора.

Переменное напряжение на входе детектора, В									
Постоянное напряжение на выходе детектора, В									

Построить график зависимости значения постоянного напряжения сигнала на выходе детектора от величины переменного напряжения на входе.

9. *Исследование влияния сопротивления и емкости нагрузки на форму сигнала на выходе детектора.*

Соедините контакт «Выход ВЧ» «0dB» (15 рис. 1.1) Генератора ВЧ с контактом КТ1 (2 рис. 1.4) входа Амплитудного детектора сменного блока.

Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) Генератора ВЧ в среднее положение, а «Амплитуда» (13 рис. 1.1) в крайне правое положение.

Регулятор «Rн» (10 рис. 1.4) сменного блока установите в крайне правое положение, а переключатели S2, S3, S4 «Сн» - в нижнее положение (емкость нагрузки отключена). Подключите вход первого канала осциллографа к разъему КТ3 (4 рис. 1.4) выхода нагрузки Амплитудного детектора.

Добейтесь устойчивой картинкой на экране осциллографа и наблюдайте осциллограмму напряжения сигнала на выходе детектора.

Исследование влияние сопротивления нагрузки на форму детектируемого сигнала осуществляется следующим образом: плавно

перемещая регулятор сопротивления нагрузки «Rн» (10 рис. 1.4) против часовой оси, наблюдать изменение осциллограммы выходного сигнала. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет. Сделать вывод о влиянии сопротивления нагрузки на форму сигнала на выходе детектора детектора.

Исследование влияния емкости нагрузки на форму детектированного сигнала осуществляемого следующим порядком: первоначально установив регулятор «Ян» (10 рис. 1.4) в крайне правое положение. Переключателями S2, S3, S4 «Сн» последовательно устанавливать емкость нагрузки: 0нФ (переключатели S2, S3, S4 в положении «вниз»), 1нФ (S2 «Вверх», S3 «Вниз», S4 «Вниз»), 10 нФ (S2 «Вниз», S3 «Вверх», S4 «Вниз»), 100 нФ (S2 «Вниз», S3 «Вниз», S4 «Вверх»)). Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет. Сделать вывод о влиянии емкости нагрузки на форму сигнала на выходе детектора.

2.4 Лабораторная работа №4. «Исследование системы АРУ».

В лабораторной работе используется базовый блок и сменный блок «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ».

1. Установите сменный блок «Исследование усилителя промежуточной частоты и системы АРУ» справа от базового модуля.

2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 1.1) с разъемом питания (1 рис.1.3) сменного блока.

3. Соедините контакт «Выход ВЧ» «-0dB» (15 рис. 1.1) Генератора ВЧ с контактом КТ1 (2 рис. 1.3) входа ФСС1 сменного блока. Установите в верхнее положение «1» переключатель входа S1 (12 рис. 1.3) сменного блока. Установите в нижнее положение «2» переключатель режима работы системы АРУ S2 (13 рис. 1.3), при этом будет включен режим регулировки уровня сигнала. Установите в среднее положение регулятор опорного (порогового) напряжения Регулятора системы АРУ Цп (14 рис. 1.3). Установите в крайнее правое положение регулятор Яф (10 рис. 1.3) полосы среза фильтра системы АРУ.

4. Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) Генератора ВЧ в крайнее левое положение. Регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.1) установите в положение 0,2В. Включить питание лабораторной установки, установив переключатель «Сеть» (1 рис. 1.1) в верхнее положение. Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 1.1) установить режим генерации Амплитудно-модулированных сигналов «АМ».

Кнопками управления «Частота +», «Частота -» и «Шаг частоты» установите частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц.

Подключить вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ5 (6 рис. 1.3) выхода Фильтра Сосредоточенной Селекции (ФСС).

Подключить вход второго канала внешнего осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 1.3) выхода Усилителя с АРУ.

5. Качественно эффективность работы АРУ можно произвести следующим образом: На экране первого канала осциллографа измерьте амплитуду входного сигнала на входе устройства. Затем измерить амплитуду сигнала второго канала осциллографа на выходе усилителя с АРУ. *(Примечание: Если сигнал на выходе усилителя сильно искажен, следует снизить уровень ВЧ сигнала.)* Найдите коэффициент передачи усилителя как отношение амплитуды выходного сигнала к входному.

Проведите аналогичные исследования при снижении уровня входного сигнала в 10 раз.

Для этого необходимо установить отсоединить вход ФСС1 от контакта «Выход ВЧ» «0 dB» и соединить с контактом «-20 dB» (16 рис. 1.1) Найдите коэффициент передачи усилителя как отношение амплитуды выходного сигнала к входному. Сделать вывод о эффекте «сжатия» динамического диапазона амплитуды входного сигнала усилителем с АРУ.

6. Исследование влияния уровня порогового (опорного) напряжения Цп на регулировку усиления АРУ.

Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) Генератора ВЧ в крайнее левое положение. Регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.1) установите в положение 0,2В.

Подключите вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 1.3) выхода усилителя с АРУ. По экрану осциллографа измерить величину входного сигнала $U_{вх}$.

Установить в крайнее левое положение регулятор порогового напряжения «Уп» (11 рис. 1.3).

Плавно поворачивая регулятор «Уп» (11 рис. 1.3) по часовой стрелке, измерить зависимость амплитуды сигнала на выходе Усилителя $U_{вых}$ (измерять по экрану осциллографа) от величины порогового напряжения $U_{п}$ (измерять по лимбу шкалы регулятора «Уп») (Примечание: Для более точного измерения величины порогового

напряжения, возможно подключить к контакту КТ9 (8 рис. 1.3) вольтметр или осциллограф с открытым входом). Экспериментальные данные занести в таблицу:

Таблица 2.3.1 Зависимость коэффициента передачи Усилителя с АРУ от величины порогового напряжения $U_{п}$ регулятора.

Величина порогового напряжения $U_{п}$, В				
Напряжение сигнала на выходе $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи $U_{вых}/U_{вх}$				

7. Измерение амплитудной характеристики усилителя с АРУ.

Установите в среднее положение регулятор порогового напряжения Цп (11 рис. 1.3).

Подключите вход первого канала осциллографа к контакту КТ5 (3 рис. 1.3) выхода ФСС1 сменного блока. Подключите вход второго канала осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 1.3) выхода Усилителя с АРУ.

Соедините выход «Выход ВЧ» «0 dB» (15 рис. 1.1) с контактом КТ1 (2 рис. 1.3) входа ФСС1.

Установите регулятор «Уровень ВЧ» (12 рис. 1.1) в крайне- левое положение.

Плавнo поворачивая по часовой стрелке регулятор «Уровень ВЧ», изменяя амплитуду входного сигнала $U_{вх}$ (по экрану первого канала осциллографа), зафиксируйте изменение величины выходного сигнала $U_{вых}$ (по экрану второго канала осциллографа). Результаты занесите в таблицу:

Таблица 2.3.2 Амплитудная характеристика усилителя с АРУ

Амплитуда сигнала на входе усилителя, В									
Амплитуда сигнала на выходе усилителя, В									

Построить график зависимости значения амплитуды сигнала на выходе усилителя с АРУ от амплитуды сигнала на входе усилителя.

8. Оценка влияния полосы среза фильтра системы АРУ на эффективность усиления сигнала.

Установите регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.3) в среднее положение. Установите регулятор «Глубина АМ» (12 рис. 1.3) в крайнее правое положение.

Подключите первый канал осциллографа к контакту КТ5 (6 рис. 1.3) выхода Усилителя с АРУ.

Подключите второй канал осциллографа к контакту КТ6 (9 рис. 1.3) выхода фильтра АРУ.

Плавное поворачивая против часовой стрелки регулятор Rф (15 рис. 1.3), увеличивать полосу среза фильтра нижних частот системы АРУ. На экране первого канала осциллографа наблюдать форму сигнала на выходе Усилителя, а на экране второго канала - сигнал на выходе фильтра. Обратите внимание, что с увеличением полосы пропускания на выходе фильтра (второй канал осциллографа) появляются пульсации сигнала, что приводит к искажениям сигнала на выходе Усилителя (первый канал осциллографа).

Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

2.5 Лабораторная работа №5. «Исследование детектора ЧМ сигнала».

В лабораторной работе используется базовый блок и сменный блок «Исследование амплитудных и частотных детекторов».

1. Установите сменный блок «Исследование амплитудных и частотных детекторов» справа от базового модуля .

2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 1.1) с разъемом питания (1 рис.1.4) сменного блока.

3. С помощью коаксиального кабеля соедините контакт КТ2 (3 рис. 1.4) входа Частотного детектора сменного блока с разъемом «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 1.1) Генератора ВЧ. Установите в среднее положение регуляторы «Амплитуда» (13 рис. 1.1) и регулятор «Девиация частоты» (11 рис. 1.1. Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 1.1) установить режим генерации Частотно- модулированного сигнала «ЧМ».

Кнопками управления «Частота +», «Частота -» и «Шаг частоты» установите частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц.

4. Установить в нижнее положение «2» переключатель нагрузки S1 (6 рис. 1.4), при этом нагрузка будет подключена к выходу Частотного детектора.

Подключить к контакту КТ4 (5 рис. 1.4) вход первого канала осциллографа. Установить режим открытого хода первого канала осциллографа.

5. Исследование частотной характеристики ЧМ - детектора.

С помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 1.1) и «Частота -» (8 рис. 1.1) изменять частоту Генератора ВЧ в пределах 455 ± 20 кГц и величину постоянного напряжения сигнала на экране осциллографа. Вблизи точки резонанса колебательной системы детектора должен наблюдаться линейный участок с высокой крутизной зависимости напряжения на выходе детектора от частоты на его входе. Если частотная зависимость не

четко выражена, необходимо изменить уровень сигнала с помощью регулятора «Уровень ВЧ».

Зафиксируйте изменение постоянного напряжения (показания осциллографа) на выходе детектора от частоты входного сигнала (по показаниям частотомера). Результаты занесите в таблицу:

Таблица 2.5.1 Дискриминационная характеристика ЧМ детектора.

Частота сигнала, кГц									
Напряжение на выходе детектора, В									

Представить экспериментальные данные в виде графической зависимости. По графику определить крутизну преобразования (В/Гц) и границы линейного участка.

6. Исследование особенностей детектирования ЧМ сигналов.

С помощью коаксиального кабеля подключите вход осциллографа к разъему КТЗ (4 рис. 1.4) выхода нагрузки сменного блока. Установите регулятор «девиация частоты» (11 рис. 1.1) в среднее положение. С помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 1.1) и «Частота -» (8 рис. 1.1) установить частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц.

Наблюдая за формой сигнала на экране осциллографа, с помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 1.1) и «Частота -» (8 рис. 1.1) измените частоту генератора вверх, а затем вниз по диапазону. Наиболее характерные осциллограммы занесите в отчет. Сделайте соответствующие выводы.

С помощью регулятора «Девиация частоты» (11 рис. 1.1) плавно изменяйте девиацию сигнала, при этом наблюдайте за изменением формы сигнала на экране осциллографа. Наиболее характерные осциллограммы занесите в отчет. Сделайте соответствующие выводы.

С помощью регулятора «Амплитуда» (13 рис. 1.1) плавно изменяйте уровень сигнала, при этом наблюдайте за изменением формы

сигнала на экране осциллографа. Наиболее характерные осциллограммы занесите в отчет. Сделайте соответствующие выводы.

8. Исследование особенностей влияния нагрузки на работу Частотного детектора. Конструктивной особенностью лабораторной установки является реализация частотного детектора на специализированной микросхеме с повышенной нагрузочной способностью, однако активная и реактивная составляющая нагрузки оказывает влияние на процесс детектирования. Экспериментально оценить влияние возможно следующим образом:

С помощью коаксиального кабеля подключите вход осциллографа к разъему КТ4 (5 рис. 1.4) выхода нагрузки сменного блока. Установите регулятор «Девияция частоты» (11 рис. 1.1) и «Амплитуда» (13 рис. 1.1) в среднее положение. С помощью кнопок «Частота +» (7 рис. 1.1) и «Частота -» (8 рис. 1.1) установить частоту Генератора ВЧ равной 455 кГц. На экране осциллографа наблюдать сигнал на выходе Частотного детектора. Оперирруя переключателями емкости нагрузки S1 S2 S3 (7,8,9 рис. 1.4) и регулятором сопротивления нагрузки Y_H (10 рис. 1.4) и наблюдая за изменением формы сигнала на экране осциллографа, оценить влияние параметров нагрузки на форму детектируемого сигнала. Наиболее характерные осциллограммы занести в отчет.

2.6 Лабораторная работа №6. «Исследование избирательности приемника по соседнему и зеркальному каналам».

В лабораторной работе используется базовый блок и сменный блок «Изучение принципа работы супергетеродинного приемника»

1. Установите сменный блок «Изучение принципа работы супергетеродинного приемника» справа от базового блока.

2. Шлейфом соединить разъем «Питание модулей» (3 рис. 1.1) с разъемом питания (1 рис.1.2) сменного блока.

3. С помощью коаксиального кабеля соедините разъем входа приемника КТ1 (2 рис. 1.2) сменного блока с контактом «Выход ВЧ» «0 dB» (15 рис. 1.1.) панели Генератора ВЧ базового модуля. Установить все ручки регуляторов на панели Генератора ВЧ в крайнее левое положение.

4. Установив переключатель «Сеть» (1 рис. 1.1) базового блока, Включить питание лабораторной установки. Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 1.1) установить режим Амплитудой модуляции (АМ). С помощью коаксиального кабеля соедините контакт КТ3 (6 рис. 1.2) выхода гетеродина сменного блока с разъемом «Частотомер» (14 рис. 1.1) панели Генератор ВЧ/Частотомер базового модуля.

5. С помощью коаксиального кабеля соедините контакт КТ6 (9 рис. 1.2) выхода УПЧ сменного блока с контактом входа первого канала осциллографа. Соединить второй вход внешнего осциллографа к контакту КТ1 (2 рис. 1.2) входа приемника.

6. С помощью коаксиального кабеля соедините разъем КТ8 (11 рис.1.2) выхода УНЧ сменного блока с разъемом «Вход» (4 рис. 1.1) панели Динамик базового модуля, регулятор «Громкость» (4 рис. 1.2) сменного блока установить в крайнее левое положение.

7. По часовой стрелке повернуть «Громкость» (4 рис. 1.2) сменной панели и установить его в среднее положение. Наблюдая за показаниями частотомера, установит регулятор «Настройка частоты» (3 рис. 1.2) в положение, соответствующее частоте Гетеродина 1555 кГц. Из громкоговорителя должен быть слышен характерный шум радиоприемника.

Установить частоту генератора равной 1100 кГц, при этом из громкоговорителя будет слышен тональный сигнал. По экрану первого канала осциллографа измерить амплитуду сигнала $U_{ок}$ основного (полезного) канала приема на выходе УПЧ.

Исследование прямого, соседнего и зеркального канала приема.

8. Установить регулятор «Уровень ВЧ» Генератора ВЧ (12 рис. 1.1) в среднее положение. С помощью кнопок управления Генератора ВЧ «+», «-» и «Шаг частоты» (7,8,9 рис. 1.1), наблюдая за дисплеем Генератора ВЧ (6 рис. 1.1), установить частоту 455 кГц. При этом из громкоговорителя УНЧ должен быть слышен тональный сигнал.

9. Убедится в том, что сигнал с частотой равной промежуточной частоте приемника непосредственно преникает со входа приемника на его выход, что может ухудшить отношение сигнал/шум принимаемого полезного сигнала. Такой паразитный канал получил название Прямого канала приема. В профессиональных конструкциях приемников установлены полосовые заграждающие фильтры («фильтры-пробки») подавляющие Прямой канал приема. По экрану осциллографа измерить амплитуду сигнала (на выходе УПЧ) прямого канала приема $U_{пр}$.

10. Установить частоту сигнала Генератора ВЧ равной 1109 кГц (согласно ГОСТ 5651 — 7 избирательность по соседнему каналу в диапазоне СВ и КВ измеряется при расстройте ± 9 кГц). По экрану осциллографа измерить амплитуду сигнала по соседнему каналу приема

$I_{ж}$

11. С помощью кнопок управления Генератора ВЧ «+», «-» и «Шаг частоты» (7,8,9 рис. 1.1), наблюдая за дисплеем Генератора ВЧ (6 рис. 1.1), установить частоту 2010 кГц ($1100 \text{ кГц} + 455 + 455 \text{ кГц}$). При этом из громкоговорителя УНЧ должен быть слышен тональный сигнал. При необходимости с помощью регуляторов генератора ВЧ подстройте уровень и частоту сигнала. Убедитесь в том, что паразитный канал наблюдается на частоте, большей частоты принимаемого полезного сигнала на величину численно равной двум промежуточным частотам. Такой канал получил название Зеркального канала приема. В профессиональной технике связи зеркальный канал подавляется с помощью частотно- избирательных входных цепей Преселектора радиоприемных устройств. По экрану осциллографа измерить амплитуду напряжения зеркального канала $U_{\text{зк}}$ на выходе УПЧ.

Оценка многосигнальной избирательности радиоприемных устройств осуществляется по следующим параметрам: избирательности по Основному каналу, Соседнему каналу, Зеркальному каналу и Прямому каналу приема.

Рассчитать ослабление (в dB относительно основного (полезного) канала приема $U_{\text{ок}}$) сигнала прямого канала $U_{\text{пр}}$, соседнего канала $U_{\text{ск}}$, и зеркального канала приема $U_{\text{зк}}$. Результаты занести в отчет.

2.7 Лабораторная работа №7. «Исследование преселектора».

Преселектор выполняет функцию перестраиваемого по частоте фильтра, основной задачей которого является подавление зеркального канала приема. Часто пассивный преселектор совмещают с перестраиваемым по частоте резонансным усилителем, выполняющим функции предварительного усиления и фильтрации сигнала.

Исследование преселектора с емкостной связью.

Соединить контакт «Выход ВЧ» «- 20dB» (16 рис. 1.1) с контактом КТ1 (2 рис. 1.5) входа Эквивалента высокоомной антенны.

Соединить контакт КТ2 (3 рис. 1.5) выхода Эквивалента высокоомной антенны с контактом КТ5 (6 рис. 1.5) входа Входной цепи с емкостной связью.

Подключить вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ7 (7 рис. 1.5) выхода Входной цепи с емкостной связью.

Примечание: Рекомендуется использовать штатные щупы осциллографа с делителем 1:10, обладающие малой входной емкостью и высоким входным сопротивлением.

Установить переключатель «Сеть» (1 рис. 1.1) в верхнее положение, при этом будет включено электропитание стенда.

Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 1.1) установить режим Амплитудной модуляции (АМ).

Установить регуляторы «Девияция частоты» (11 рис. 1.1) и «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) в крайнее левое положение.

Установить регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.1) в среднее положение.

Исследование Амплитудно-частотной характеристики пассивной входной цепи с емкостной связью.

Установить частоту Генератора ВЧ равной 1100 кГц.

Наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор Уупр (12 рис. 1.5) в положение соответствующее максимальной амплитуде сигнала на выходе Входной цепи (первый канал осциллографа). Измерить амплитуду сигнала основного канала приема $U_{ок}$. Изменяя частоту генератора ВЧ в пределах от 400 кГц до 2100 кГц с шагом 100 кГц, измерить зависимость амплитуды на выходе Входной цепи от частоты сигнала. Результаты занести в таблицу.

Таблица 2.7.1. Амплитудно - частотная характеристика пассивной Входной цепи с емкостной связью

Частота , F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи ВЦ $k=20lg(U_{вых}/U_{осн})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудно-частотной характеристики. По графику определить подавление сигнала паразитных Прямого канала (455 кГц) и Зеркального канала ($1100\text{кГц}+455\text{кГц}+455\text{кГц} = 2010$).

Исследование Амплитудно-частотной характеристики активной входной цепи с емкостной связью

Соединить контакт КТ7 (7 рис. 1.5) выхода Входной цепи с контактом КТ9 (10 рис. 1.5) входа Усилителя Радио Частоты (УРЧ).

Подключить первый канал осциллографа к контакту КТ10 (11 рис. 1.5) выхода УРЧ.

Установить частоту Генератора ВЧ равной 1100 кГц.

Наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор Уупр (12 рис. 1.5) в положение соответствующее максимальной амплитуде сигнала на выходе Входной цепи (второй канал осциллографа). Измерить амплитуду сигнала основного канала приема $U_{осн}$.

Примечание: Желательно, чтобы амплитуда сигнала на выходе УРЧ не превышала 2 Вольта, в противном случае могут возникнуть нелинейные искажения сигнала, снижающие чистоту эксперимента. При необходимости уровень сигнала можно уменьшить с помощью регулятора Амплитуда (13 рис. 1.1).

Изменяя частоту генератора ВЧ в пределах от 400 кГц до 2100 кГц с шагом 100 кГц, измерить зависимость амплитуды на выходе УРЧ от частоты сигнала. Результаты занести в таблицу.

Таблица 2.7.2. Амплитудно - частотная характеристика активной Входной цепи с емкостной связью

Частота , F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), U _{вых} , В				
Коэффициент передачи ВЦ $k=20\lg(U_{\text{вых}}/U_{\text{осн}})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудно-частотной характеристики. По графику определить подавление сигнала паразитных прямого канала (455 кГц) и зеркального канала (1100кГц+455кГц+455кГц=2010). Сравнить Амплитудно-частотные характеристики пассивной и активной входной цепи.

Исследование Амплитудной характеристики

Соединить контакт КТ7 (7 рис. 1.5) выхода Входной цепи с контактом КТ9 (10 рис. 1.5) входа Усилителя Радио Частоты (УРЧ).

Подключить первый канал осциллографа к контакту КТ2 (3 рис. 1.5) входа Входной цепи с емкостной связью.

Подключить второй канал осциллографа к контакту КТ10 (11 рис. 1.5) выхода УРЧ.

Последовательно увеличивая частоту Генератор ВЧ (используя кнопки «Частота +» (7 рис. 1.1)) от 1100 кГц до 2000 кГц с шагом 100 кГц. Для каждого значения частоты Генератора ВЧ, плавно вращая регулятор

Уупр (12 рис. 1.5) и наблюдая за экраном второго канала осциллографа, необходимо установить резонанс во входной цепи соответствующий максимуму сигнала второго канала осциллографа.

Занести в таблицу значение коэффициента передачи активной Входной цепи в зависимости от частоты (Амплитудная характеристика).

Таблица. 2.7.3. Амплитудная характеристика активной Входной цепи с высокоомным эквивалентом антенны

Частота, F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на входе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вх}$, В				
Величина амплитуды сигнала на выходе УРЧ ВЦ (показания второго канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи УРЧ ВЦ $k=20 \lg(U_{вх}/U_{вых})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудной характеристики цепи как $k=f(F)$.

Провести исследования *влияния импеданса* Эквивалента приемной антенны на Амплитудную характеристику входной цепи.

Для этого необходимо соединить контакт «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 1.1) с контактом КТ3 (4 рис. 1.5) входа Эквивалента низкоомной приемной антенны. Соединить контакт КТ4 (5 рис. 1.1) выхода Эквивалента антенны с контактом КТ5 (6 рис. 1.5) входа Входной цепи с емкостной связью. Соединить (используя штатный щуп 1:10) первый вход первого канала осциллографа с контактом КТ4 (5 рис. 1.5) выхода Эквивалента приемной антенны.

Используя методику, описанную выше, измерить Амплитудную характеристику Входной цепи с емкостной связью в диапазоне частот от 1100 кГц до 2000 кГц с шагом 100 кГц. Результаты занести в таблицу:

Таблица. 2.7.4. Амплитудная характеристика пассивной Входной цепи с низкоомным эквивалентом антенны

Частота, F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на входе ВЦ (показания первого канала осциллографа), U _{вх} , В				
Величина амплитуды сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), U _{вых} , В				
Коэффициент передачи ВЦ $k=20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вых}})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудной характеристики цепи как $k=f(F)$. Сравнить график с построенным в предыдущем разделе. Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

Исследование преселектора с индуктивной связью.

Соединить контакт «Выход ВЧ» «- 20dB» (16 рис. 1.1) с контактом КТ3 (2 рис. 1.5) входа Эквивалента высокоомной антенны.

Соединить контакт КТ2 (3 рис. 1.5) выхода Эквивалента высокоомной антенны с контактом КТ6 (8 рис. 1.5) входа Входной цепи с индуктивной связью.

Подключить вход первого канала внешнего осциллографа к контакту КТ8 (9 рис. 1.5) выхода Входной цепи с индуктивной связью.

Примечание: Рекомендуется использовать штатные щупы осциллографа с делителем 1:10, обладающие малой входной емкостью и высоким входным сопротивлением.

Установить переключатель «Сеть» (1 рис. 1.1) в верхнее положение, при этом будет включено электропитание стенда.

Последовательно нажимая кнопку «Модуляция» (10 рис. 1.1) установить режим Амплитудной модуляции (АМ).

Установить регуляторы «Девияция частоты» (11 рис. 1.1) и «Глубина АМ» (12 рис. 1.1) в крайнее левое положение.

Установить регулятор «Амплитуда» (13 рис. 1.1) в среднее положение.

Исследование Амплитудно-частотной характеристики пассивной входной цепи с индуктивной связью..

Установить частоту Генератора ВЧ равной 1100 кГц.

Наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор иупр (12 рис. 1.5) в положение соответствующее максимальной амплитуде сигнала на выходе Входной цепи (первый канал осциллографа). Измерить амплитуду сигнала основного канала приема Цосн.

Изменяя частоту генератора ВЧ в пределах от 400 кГц до 2100 кГц с шагом 100 кГц, измерить зависимость амплитуды на выходе Входной цепи от частоты сигнала. Результаты занести в таблицу.

Таблица 2.7.5. Амплитудно - Частотная характеристика пассивной Входной цепи с индуктивной связью

Частота , F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), U _{вых} , В				
Коэффициент передачи ВЦ $k=201g(U_{\text{вых}}/U_{\text{осн}})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудно-частотной характеристики. По графику определить подавление сигнала паразитных прямого канала (455 кГц) и зеркального канала ($1100\text{кГц}+455\text{кГц}+455\text{кГц}=2010$)

Исследование Амплитудно-частотной характеристики активной входной цепи с индуктивной связью

Соединить контакт КТ8 (9 рис. 1.5) выхода Входной цепи с контактом КТ9 (10 рис. 1.5) входа Усилителя Радио Частоты (УРЧ).

Подключить первый канал осциллографа к контакту КТ10 (11 рис. 1.5) выхода УРЧ.

Установить частоту Генератора ВЧ равной 1100 кГц.

Наблюдая за экраном осциллографа, установить регулятор Уупр (12 рис. 1.5) в положение соответствующее максимальной амплитуде сигнала на выходе Входной цепи (второй канал осциллографа). Измерить амплитуду сигнала основного канала приема $U_{осн}$.

Примечание: Желательно, чтобы амплитуда сигнала на выходе УРЧ не превышала 2 Вольта, в противном случае могут возникнуть нелинейные искажения сигнала, снижающие чистоту эксперимента. При необходимости уровень сигнала можно изменить с помощью регулятор Амплитуда (13 рис. 1.1).

Изменяя частоту генератора ВЧ в пределах от 400 кГц до 2100 кГц с шагом 100 кГц, измерить зависимость амплитуды на выходе УРЧ от частоты сигнала. Результаты занести в таблицу.

Таблица 2.7.6. Амплитудно - Частотная характеристика активной Входной цепи с индуктивной связью

Частота , F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи ВЦ $k=201g(U_{вых}/U_{осн})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудно-частотной характеристики. По графику определить подавление сигнала паразитных прямого канала (455 кГц) и зеркального канала ($1100\text{кГц}+455\text{кГц}+455\text{кГц}=2010$). Сравнить характеристики пассивной и активной входной цепи.

Исследование Амплитудной характеристики Соединить контакт КТ8 (9 рис. 1.5) выхода Входной цепи с контактом КТ9 (10 рис. 1.5) входа Усилителя Радио Частоты (УРЧ).

Подключить первый канал осциллографа к контакту КТ2 (3 рис. 1.5) входа Входной цепи с индуктивной связью.

Подключить второй канал осциллографа к контакту КТ10 (11 рис. 1.5) выхода УРЧ.

Последовательно увеличивая частоту Генератор ВЧ (используя кнопки «Частота +» (7 рис. 1.1)) от 1100 кГц до 2000 кГц с шагом 100 кГц. Для каждого значения частоты Генератора ВЧ, плавно вращая регулятор иупр (12 рис. 1.5) и наблюдая за экраном второго канала осциллографа, необходимо установить резонанс во входной цепи соответствующий максимуму сигнала второго канала осциллографа.

Занести в таблицу значение коэффициента передачи активной Входной цепи в зависимости от частоты (Амплитудная характеристика).

Таблица. 2.7.7. Амплитудная характеристика активной Входной цепи с индуктивной связью с высокоомным эквивалентом антенны

Частота, F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на входе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вх}$, В				
Величина амплитуды сигнала на выходе УРЧ ВЦ (показания второго канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи УРЧ ВЦ $k=20 \lg(U_{вх}/U_{вых})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудной характеристики цепи как $k=f(F)$.

Провести исследования *влияния импеданса Эквивалента приемной антенны на Амплитудную характеристику входной цепи.*

Для этого необходимо соединить контакт «Выход ВЧ» «-20 dB» (16 рис. 1.1) с контактом КТ3 (4 рис. 1.5) входа Эквивалента низкоомной приемной антенны. Соединить контакт КТ4 (5 рис. 1.1) выхода Эквивалента антенны с контактом КТ6 (8 рис. 1.5) входа Входной цепи с индуктивной связью. Соединить (используя штатный щуп 1:10) вход

первого канала осциллографа с контактом КТ4 (5 рис. 1.5) выхода Эквивалента приемной антенны.

Используя методику, описанную выше, измерить Амплитудную характеристику Входной цепи с индуктивной связью в диапазоне частот от 1100 кГц до 2000 кГц с шагом 100 кГц. Результаты занести в таблицу:

Таблица. 2.7.8. Амплитудная характеристика пассивной Входной цепи с индуктивной связью с высокоомным эквивалентом антенны

Частота, F , кГц				
Величина амплитуды сигнала на входе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вх}$, В				
Величина амплитуды сигнала на выходе ВЦ (показания первого канала осциллографа), $U_{вых}$, В				
Коэффициент передачи ВЦ $k=201g(U_{вх}/U_{вых})$, dB				

Построить графическую зависимость Амплитудной характеристики цепи как $k=f(F)$. Сравнить график с построенным в предыдущем разделе. Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

Сравнить Амплитудные характеристики Входной цепи с индуктивной связью и емкостной связью. Сделать соответствующие выводы и занести их в отчет.

Лабораторная работа №8. Исследование системы фазовой автоподстройки частоты.

Цель работы: Приобретение практических навыков исследования специализированной микросхемы ФАПЧ.

Описание модуля «Синтезаторы частоты»

Модуль содержит функциональные узлы ФАПЧ, позволяющие реализовать синтезатор с предварительным делением частоты, а также узел синтезатора с преобразованием частоты.

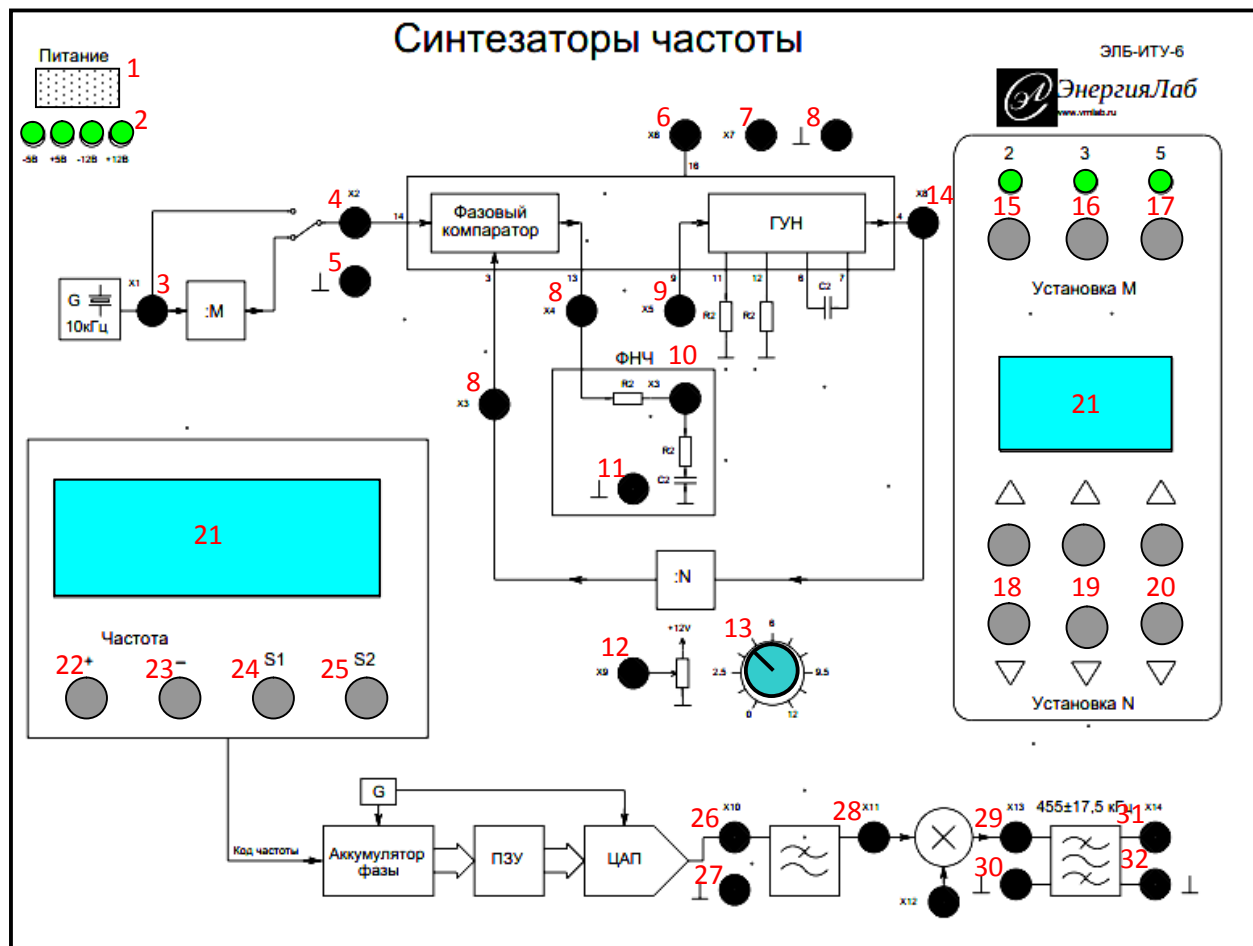


Рис. 1.6 Расположение контактов и органов управления модуля «Синтезатор частоты». Здесь цифрами красного цвета обозначены:

1. Разъем подключения шлейфа подачи питающих напряжений модуля.

2. Индикаторы контроля питающих напряжений модуля.
3. Контакт Х1 контроля сигнала опорного генератора 10 кГц.
4. Контакт Х2 сигнала входа системы фазовой автоподстройки синтезатора.
5. Контакт общей цепи (земля) модуля.
6. Контакт Х6 контрольной точки синтезатора частоты.
7. Контакт Х7 контрольной точки синтезатора частоты.
8. Контакт общей цепи (земля) модуля.
9. Контакт Х3 входа управляющего напряжения Генератора Управляемого Напряжением (ГУН).
10. Контакт Х3 Фильтра низких частот обратной связи системы фазовой автоподстройки частоты синтезатора.
11. Контакт общей цепи (земля) модуля.
12. Контакт Х9 управляемого делителя постоянного напряжения.
13. Регулятор управляемого делителя постоянного напряжения.
14. Контакт Х8 сигнала выхода Генератора управляемого напряжением.
15. Кнопка и контрольный световой индикатор включения режима деления частоты на 2 счетчика – делителя опорной частоты « :М ».
16. Кнопка и контрольный световой индикатор включения режима деления частоты на 3 счетчика – делителя опорной частоты « :М ».
17. Кнопка и контрольный световой индикатор включения режима деления частоты на 5 счетчика « :М » – делителя опорной частоты.
18. Кнопки установки старшего разряда коэффициента деления счетчика « :N » – делителя частоты Генератора управляемого напряжением.
19. Кнопки установки среднего разряда коэффициента деления счетчика « :N » – делителя частоты Генератора управляемого напряжением.
20. Кнопки установки младшего разряда коэффициента деления счетчика « :N » – делителя частоты Генератора управляемого напряжением.

21. Трехразрядный цифровой индикатор установки коэффициента деления Генератора управляемого напряжением.

22. Многофункциональный индикатор состояния сигналов управления синтезаторов частоты.

23. Кнопка «+» увеличения текущих показаний установки кода частоты синтезатора частоты.

24. Кнопка «-» уменьшения текущих показаний установки кода частоты синтезатора частоты.

25. Кнопка управления программным переключателем S1.

26. Кнопка управления программным переключателем S2.

27. Контакт X10 выхода Цифро - Аналогового Преобразователя (ЦАП) синтезатора частоты.

28. Контакт общей цепи (земля) модуля.

29. Контакт X11 выхода фильтра нижних частот синтезатора .

30. Контакт X12 входа сигнала опорной частоты («подставка») смесителя синтезатора частоты.

31. Контакт общей цепи (земля) модуля.

32. Контакт выхода полосового кварцевого фильтра с центральной частотой 455кГц и полосой пропускания (-3 дБ) 35 кГц.

33. Контакт общей цепи (земля) модуля.

Необходимые теоретические сведения.

Микросхема LM565 содержит функционально-законченный набор узлов системы Фазовой Автоподстройки Частоты (ФАПЧ). В ее состав входят стабильный линейный генератор управляемый напряжением, фазовый детектор на двойном балансном смесителе. Варьирование номиналов внешних элементов позволяют изменять параметры ФАПЧ в широких пределах.

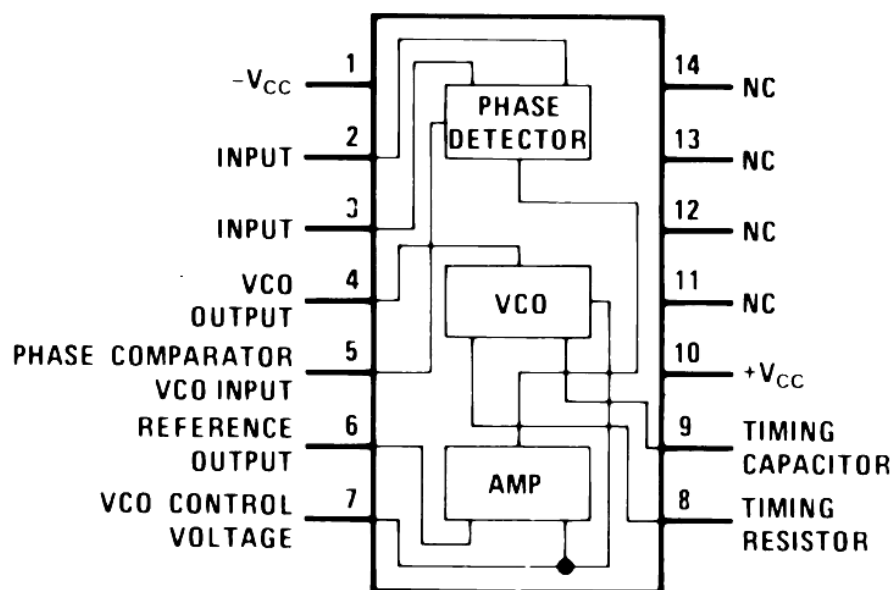


Рис. 2.8.1 Структурная схема микросхемы LM565. Здесь контакт V_{cc} -1 – контакт подключения отрицательного источника питания (или общей цепи \perp), INPUT 2- контакт первого входа фазового компаратора, INPUT 3 – контакт второго входа фазового компаратора, VCO OUTPUT 4 – выход сигнала (меандр) генератора управляемого напряжением, PHASE COMPARATOR VCO INPUT 5 – вход опорного сигнала (от генератора управляемого напряжением) фазового компаратора, REFERENCE OUTPUT 6 – выход сигнала ФНЧ ФАПЧ, VCO CONTROL VOLTAGE 7 – вход управляющего напряжения генератора управляемого напряжением, TIMING RESISTOR 8 – контакт подключения внешнего частото задающего резистора, TIMING CAPASITOR 9 – контакт подключения внешнего частото задающего конденсатора, + V_{cc} 10 – контакт подключения источника питания положительной полярности.

Перечень используемого оборудования. В процессе выполнения лабораторных заданий используется основной модуль, модуль «Частотные модуляторы/демодуляторы» (в дальнейшем модуль), а также внешний двухлучевой осциллограф.

Последовательное описание этапов выполнения работы.

Соединить клемму заземления лабораторной установки со штатной

заземлением лаборатории.

Сетевым шнуром соединить контакт «~220V» (17 рис. 1.1) основного модуля с розеткой однофазного электропитания 220 В частотой 50 Гц.

Используя шлейф, соединить разъем X1 (22 рис. 1.1) панели «Питание модулей» основного модуля с разъемом Питание (1 рис. 1.4) Модуля «Частотные модуляторы/демодуляторы».

Установить в в крайнее левое положение регулятор R14 (25 рис. 1.4) панели Система ФАПЧ LM 565.

Соединить контакт X14 (17 рис. 1.4) выхода MC1648

Соединить контакт выхода ГУН X17 (30 рис. 1.4) панели Система ФАПЧ LM 565 с контактом Вход (20 рис. 1.4) панели Частотомер.

Соединить контакт \perp (31 рис. 1.4) панели Система ФАПЧ LM 565 с контактом \perp (21 рис. 1.1) панели Частотомер.

С помощью измерительного щупа соединить первый канал осциллографа CH1 с контактом X17 (17 рис. 1.4) панели Система ФАПЧ LM 565.

Соединить контакт экрана измерительного щупа осциллографа с контактом \perp (31 рис. 1.4) панели Система ФАПЧ LM 565.

.

Установить в верхнее положение переключатель C14 (28 рис. 1.4) панели Система ФАПЧ LM 565.

Установить в верхнее положение переключатель «Сеть» основного модуля, при этом будут поданы питающие напряжения на цепи и узлы лабораторной установки.

На экране осциллографа наблюдать колебание прямоугольной формы на выходе Генератора Управляемого Напряжением.

На экране поля частотомера наблюдать текущую частоту генерации.

Плавно поворачивая по часовой стрелке регулятор R14 (25 рис. 1.4) панели Система ФАПЧ LM 565, наблюдать за показаниями индикатора Частотомера (7 рис. 1.1). Экспериментальные данные занести в таблицу:

Таблица 2.7.1.1 Зависимость частоты генерации ГУН LM565 от номиналов частотоподающей цепи

Величина сопротивления R14 (по лимбу шкалы регулятора R14) , кОм				
Частота генерации при емкости C14 ₁ (показания Частотомера) F ₁ (кГц)				
Частота генерации при емкости C14 ₂ (показания Частотомера) F ₁ (кГц)				

Установить переключатель C14 в нижнее положение, при этом в частотоподающую цепь будет включен конденсатор C14₂

По методике описанной выше, измерить зависимость частоты генерации от величины сопротивления R14.

Контрольные вопросы:

1. На примере LM 565 обозначить основные узлы ФАПЧ?
2. Какие функции выполняет фазовый детектор (компаратор) системы ФАПЧ LM 565?
3. Какую функцию выполняет фильтр низких частот системы ФАПЧ ?