

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им.Н.И.Лобачевского**

СУПЕРГЕТЕРОДИННЫЙ РАДИОПРИЁМНИК

Практикум

Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета
для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям 03.03.03
«Радиофизика и электроника» и 10.05.02 «Информационная безопасность
телекоммуникационных систем»

Нижегород

2016г.

УДК 621.396.62
ББК 3849
С 89

Супергетеродинный радиоприёмник. Составитель к.т.н., доцент В.Ф.Клюев:
Методические указания к лабораторной работе. - Нижний Новгород:
Нижегородский госуниверситет, 2016, - 29с.

Рецензент: кандидат физ.- мат. наук, доцент В.Г.Павельев

Методические указания к лабораторной работе составлены в соответствии с программой курса «Основы радиоэлектроники». Данная работа выполняется в лаборатории радиоприемных и радиопередающих устройств в завершение изучения этого курса.

Методические указания содержат описание физических процессов, происходящих в радиоприёмных устройствах, структурную схему супергетеродинного приёмника и анализ работы отдельных его каскадов, а также принципиальные схемы некоторых узлов.

Методические указания к лабораторной работе рекомендованы для студентов 3-го курса радиофизического факультета, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 «Радиофизика» и 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Ответственные за выпуск:
председатель методической комиссии радиофизического факультета
ННГУ,
к.ф.-м.н., доцент **Миловский Н.Д.**,
зам.председателя методической комиссии радиофизического факультета
ННГУ
д.ф.-м.н., профессор **Грибова Е.З.**

УДК621.396.62
ББК 3849

**Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им.Н.И.Лобачевского, 2016**

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Радиоэлектронное устройство, предназначенное для улавливания электромагнитных колебаний высокой частоты, их преобразования и извлечения из них полезной информации, называется радиоприемным устройством. Оно состоит из приемной антенно-фидерной системы, собственно радиоприемника, оконечного устройства и источников питания.

С помощью антенны осуществляется преобразование электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве, в высокочастотные токи или напряжения. В приемнике выделяется полезный радиосигнал, являющийся модулированным высокочастотным колебанием, у которого один из параметров (амплитуда, частота или фаза) изменяется по закону передаваемого сообщения. Этот сигнал детектируется, и на выходе приемника формируется низкочастотный сигнал, соответствующий принятому сообщению. Низкочастотный сигнал обрабатывается в оконечном устройстве и из него извлекается необходимая информация.

При указанном разделении основными узлами радиоприемника являются входные цепи (ВЦ), усилитель радиочастоты, преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, детектор, системы автоматического регулирования, ручные регуляторы и усилитель низких частот. В качестве оконечных устройств используются телефоны, громкоговорители, телеграфные аппараты, электроннолучевые трубки и электронные вычислительные машины.

Радиоприемные устройства применяются в радиовещании, радиосвязи, радионавигации, радиолокации, радиотелеуправлении, радиоастрономии, в радиоизмерительных установках и т. д. Такое широкое их применение привело к созданию разнообразных радиоприемных устройств, которые классифицируют по ряду признаков, определяющих их технические характеристики.

По назначению радиоприемники делятся на две большие группы: радиовещательные (непрофессиональные) и профессиональные. Профессиональные приемники предназначаются для выполнения специальных технических задач, а радиовещательные приемники служат для приема звуковых и телевизионных программ.

По виду модуляции радиоприемники подразделяются на приемники амплитудно-модулированных, частотно-модулированных, фазо-модулированных, импульсно-модулированных сигналов и приемники однополосных сигналов.

По диапазону принимаемых волн различают длинноволновые ($\lambda > 3$ км), средневолновые ($\lambda = 0,2-3$ км), коротковолновые ($\lambda = 10-100$ м) и ультракоротковолновые ($\lambda < 10$ м) приемники. Последние подразделяются на приемники метровых, дециметровых и миллиметровых волн (в

настоящее время ведутся интенсивные разработки радиоприемников оптического диапазона).

По условиям эксплуатации радиоприемники делятся на стационарные, бортовые (корабельные, самолетные, автомобильные, космические) и переносные.

По особенностям схемы различают следующие виды радиоприемников: детекторные, прямого усиления, регенеративные, суперрегенеративные и супергетеродинные. Последние бывают либо с однократным либо с многократным преобразованием частоты.

Кроме того, радиоприемники классифицируют по роду работы (телеграфные, телефонные, фототелеграфные и др.), способу питания (сетевые, батарейные) и ряду других признаков.

Независимо от назначения, схемы и конструкции все радиоприемники выполняют три основные функции: селекцию полезного сигнала, его детектирование и усиление. Качество выполнения этих функций определяется характеристиками радиоприемника.

Основными электрическими характеристиками радиоприемника являются чувствительность, избирательность, помехоустойчивость, качество воспроизведения сигналов, диапазон рабочих частот и выходные параметры.

Чувствительностью радиоприемника называется его способность обеспечивать нормальный прием слабых сигналов, её оценивают минимальной величиной сигнала в антенне, которая необходима для получения номинальной мощности на выходе приемника при заданном превышении сигнала над шумами (при заданном отношении сигнал/шум).

С теоретической точки зрения кажется, что можно создать радиоприемник, чувствительный к сколь угодно слабым сигналам. Для этого требуется лишь увеличить число его усилительных каскадов. Однако в реальных радиоприемниках, кроме полезного сигнала, на выходе всегда имеются шумы, которые складываются из внешних помех и собственных шумов радиоприёмника. Для обнаружения сигнала на фоне шумов нужно, чтобы интенсивность сигнала была больше интенсивности шума.

Поэтому чувствительность радиоприемников в различных диапазонах волн оценивают по-разному. В диапазоне длинных, средних и коротких волн, где уровень внешних помех и особенно внутренних шумов приемников мал, чувствительность радиоприемников оценивают минимальной величиной э.д.с. E_A сигнала в антенне, обеспечивающей номинальную выходную мощность. В диапазоне УКВ, где уровень внутренних шумов достаточно велик, чувствительность радиоприемников определяется мощностью сигнала в антенне, которая обеспечивает заданное отношение сигнал/шум на выходе приемника, соответствующее обнаружению с заданной вероятностью сигнала на фоне шумов.

Избирательностью радиоприемника называется его способность выделять полезный сигнал из множества сигналов других радиостанций и помех, наводимых в антенне.

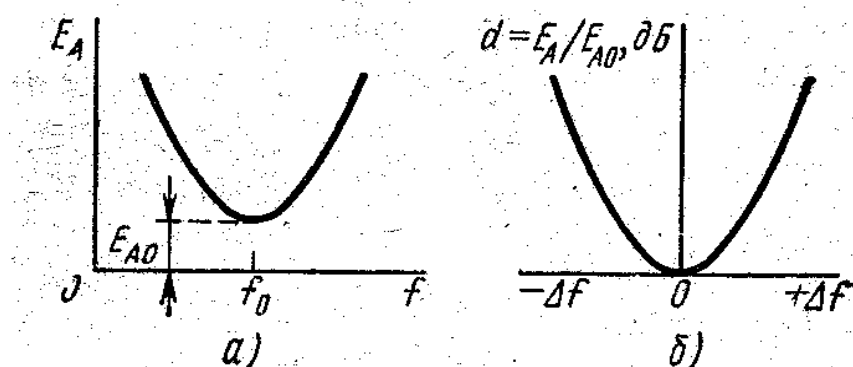


Рис. 1

В радиоприемниках используется частотная избирательность. Избирательность оценивают по резонансной характеристике приемника, которую снимают следующим образом. При неизменной настройке приемника в цепь эквивалента его антенны подают радиосигнал со стандартной модуляцией. Изменяя несущую частоту этого сигнала, каждый раз подбирают такую амплитуду напряжения в эквиваленте антенны, чтобы выходная мощность приемника была постоянной и равной номинальной. Полученная таким образом зависимость э. д. с. сигнала в антенне от величины расстройки между несущей частотой и частотой настройки приемника называется его резонансной характеристикой (Рис.1,а).

Минимум кривой характеризует чувствительность приемника при точной настройке на частоту сигнала. Остальные точки кривой определяют его чувствительность при расстройке относительно частоты сигнала. Для удобства сравнительной оценки избирательности различных приемников их резонансные характеристики строят в специальной координатной системе (Рис.1,б). По оси абсцисс откладывают расстройку $\pm \Delta f = f - f_0$, где f_0 - частота настройки приемника, а по оси ординат - величину $d = E_A/E_{A0}$, которая называется ослаблением. Так как вблизи f_0 э. д. с. E_A сигнала в антенне изменяется в сотни и тысячи раз, удобно использовать логарифмический масштаб по оси ординат, откладывая d в децибелах. При этом минимум резонансной характеристики будет соответствовать нулю.

Чем уже резонансная характеристика радиоприемника, тем выше его избирательность. Однако в связи с тем, что полезный сигнал всегда имеет некоторый спектр частот, чрезмерное сужение резонансной характеристики недопустимо. Поэтому для количественной оценки избирательности вводят понятие полосы пропускания приемника под которой понимают ширину полосы частот вблизи f_0 где ослабление изменяется в $\sqrt{2}$ раз (~ 3 дБ). Для улучшения избирательности

при заданной полосе пропускания приемника необходимо приближать форму его резонансной характеристики к прямоугольной.

Помехоустойчивостью радиоприемника называется его способность обеспечивать достоверный прием полезной информации при действии различных помех. Количественно помехоустойчивость приемника оценивают вероятностью правильного приема сигнала при заданном отношении по мощности сигнал/шум на его входе.

Качество воспроизведения сигналов зависит от величины искажений, вносимых различными элементами радиоприемника. Так же как в усилителях, различают нелинейные, частотные и фазовые искажения. Первые из них вызываются нелинейностью амплитудных характеристик элементов приемника, вторые непостоянством его коэффициента усиления для различных модулирующих частот, а последние — нелинейностью фазовой характеристики приемника.

Диапазоном рабочих частот радиоприемника называется интервал частот, в пределах которого: 1) приемник может быть настроен на любую частоту; 2) его основные показатели (чувствительность, избирательность, помехоустойчивость и качество воспроизведения сигналов) во всем диапазоне удовлетворяют заданным нормам.

Выходные параметры радиоприемника определяются его назначением и типом оконечного устройства. Для радиовещательных и связных приемников важна выходная мощность, которая в реальных устройствах колеблется от 0,1 до 10 Вт. В приемниках, работающих на электроннолучевых трубках (радиолокационные и телевизионные), существенна величина выходного напряжения, которое управляет электронным лучом. В ряде случаев важен выходной ток.

Помимо приведенных основных электрических характеристик, радиоприемники характеризуются устойчивостью работы, эффективностью работы вспомогательных устройств, мощностью и параметрами источников питания.

Кроме того, любое радиоприемное устройство характеризуется рядом конструктивных показателей, к которым в первую очередь относятся надежность работы, удобство управления, метод монтажа, типы используемых элементов, запас прочности, габариты и вес.

При этом ряд характеристик, как электрических, так и конструктивных, находится во взаимосвязи и противоречии, поэтому задача создания реального радиоприемного устройства часто оказывается достаточно сложной.

Перейдем к рассмотрению основных схем радиоприемников. В соответствии с изложенным выше приемник должен осуществлять большое усиление слабых радиосигналов при малых собственных шумах. Вместе с тем он должен осуществлять частотную избирательность, т. е. выделять полезный сигнал из помех по признаку различия их спектров. Частотная избирательность достигается благодаря применению

резонансных элементов в высокочастотном тракте приемника (до детектора). Такой высокочастотный тракт передает с наибольшим усилением колебание, на частоту которого настроены резонансные элементы, а колебания с другими частотами усиливаются тем меньше, чем больше их частота отличается от резонансной. Зависимость коэффициента усиления высокочастотного тракта приемника от частоты входного сигнала изображается в виде амплитудно-частотной характеристики. Для приема желаемого радиосигнала резонансные элементы настраивают на его частоту, т. е. совмещают амплитудно-частотную характеристику приемника со спектром сигнала. В этом случае приемник наиболее восприимчив к полезному радиосигналу, а помехи вызывают на выходе его высокочастотного тракта тем более слабый отклик, чем больше отличаются их частоты от резонансной и чем резче спадают боковые ветви резонансной кривой. Чтобы принять другой радиосигнал, необходимо изменить настройку приемника, т. е. настройку его резонансных элементов.

Спектр модулированного радиосигнала занимает некоторую полосу частот. Чтобы сигнал не искажался, все составляющие спектра должны пропускаться к детектору с одинаковым усилением, т. е. амплитудно-частотная характеристика высокочастотного тракта должна быть равномерной в полосе частот спектра. Для наилучшего подавления помех, частоты которых лежат вне полосы частот спектра полезного сигнала, амплитудно-частотная характеристика должна иметь нулевую ординату вне этой полосы частот. Таким образом, для неискаженного приема сигнала и подавления указанных помех желательно, чтобы амплитудно-частотная характеристика приемника имела прямоугольную форму, а ее ширина равнялась полосе частот спектра сигнала (кривая А на Рис.2).

Если амплитудно-частотная характеристика приемника изображается кривой Б (см. Рис. 2), то сигнал почти не искажается, но помехи, имеющие частоты, резко отличные от частоты сигнала, пропускаются к детектору с незначительным ослаблением по сравнению с сигналом. Наоборот, если эта характеристика имеет вид кривой В, то такие помехи практически не пропускаются к детектору, но и сигнал подвергается сильным искажениям.

Частотная избирательность не устраняет действие помех, спектры которых полностью или частично пропускаются высокочастотным трактом. Опасность этих помех тем больше, чем шире полоса пропускания приемника. Поэтому полосу пропускания часто делают более узкой, чем спектр сигнала; при этом сигнал пропускается к детектору с искажениями, но ослабляется действие помех. Иногда высокочастотный тракт приемника делают с переменной полосой пропускания, что позволяет при отсутствии помех использовать широкую полосу для неискаженного приема, а при помехах — узкую полосу для ослабления их действия.



Рис. 2.

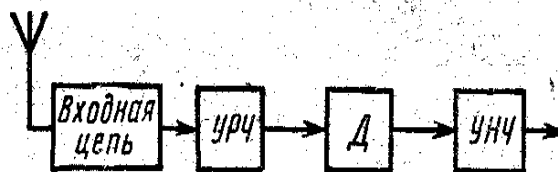


Рис. 3.

Изложенное, позволяет сформулировать следующие требования к высокочастотному тракту радиоприемника:

- 1) усиление должно быть большим при слабых собственных шумах;
- 2) полоса пропускания должна соответствовать спектру сигнала;
- 3) форма амплитудно-частотной характеристики должна быть близка к прямоугольной;
- 4) при настройке на разные частоты диапазона величина коэффициента усиления, полоса пропускания приемника и форма его амплитудно-частотной характеристики не должны подвергаться значительным изменениям.

Структурные схемы современных радиоприемников имеют много разновидностей, но все они делятся на две основные группы: приемники прямого усиления и супергетеродинные приемники (с преобразованием частоты). Структурная схема радиоприемника прямого усиления изображена на Рис.3.

Первым элементом приемника является входная цепь, или входное устройство, через которое радиосигнал передается к первому активному элементу (лампе или транзистору). Входное устройство характеризуется теми же показателями, что и другие каскады, поэтому его удобно включать в один из каскадов приемника. Далее радиосигнал усиливается одним или несколькими каскадами усиления радиочастотных колебаний, которые сокращенно называют усилителями радиочастоты (УРЧ), после чего он поступает на вход детектора (Д). В некоторых случаях при достаточной мощности сигнала детектор присоединяют непосредственно к входному устройству без усилителей радиочастоты; такие приемники называют детекторными.

Входное устройство и усилители радиочастоты содержат резонансные элементы, настраиваемые на несущую частоту принимаемого сигнала. Название «приемник прямого усиления» подчеркивает ту особенность, что усиление и фильтрация до детектора происходит на частоте принятого радиосигнала.

Принцип действия этой схемы наиболее прост, но имеет ряд недостатков. Для приема радиосигналов с разными несущими частотами нужно изменять настройку всех контуров высокочастотного тракта приемника. Возникающие при этом конструктивные трудности не

позволяют использовать большое число контуров, а при малом числе их нельзя получить близкую к прямоугольной форму амплитудно-частотной характеристики приемника. Малое число контуров приводит к малому числу усилительных каскадов; поэтому часто не удается получить требуемое усиление до детектора.

Ширина резонансной кривой и резонансное сопротивление каждого контура меняются при настройке на разные частоты. Резонансное сопротивление влияет на коэффициент усиления того каскада, в который входит контур. В результате полоса пропускания, избирательность и усиление высокочастотного тракта сильно изменяются при настройке на разные частоты диапазона. В диапазонах наиболее высоких радиочастот, при использовании контуров с конструктивно осуществимыми потерями, полоса пропускания оказывается чрезмерно широкой, а усиление недостаточным даже при большом числе каскадов. Наконец, усилители высоких радиочастот имеют плохую устойчивость.

Вследствие этих недостатков приемник прямого усиления находит ограниченное применение, а более употребительным является приемник с преобразованием частоты, называемый **супергетеродинным**.

В супергетеродинном приемнике несущая частота принимаемого радиосигнала преобразуется в постоянную для данного приемника промежуточную частоту, на которой производится основное усиление, фильтрация и детектирование сигнала (Рис.4.).

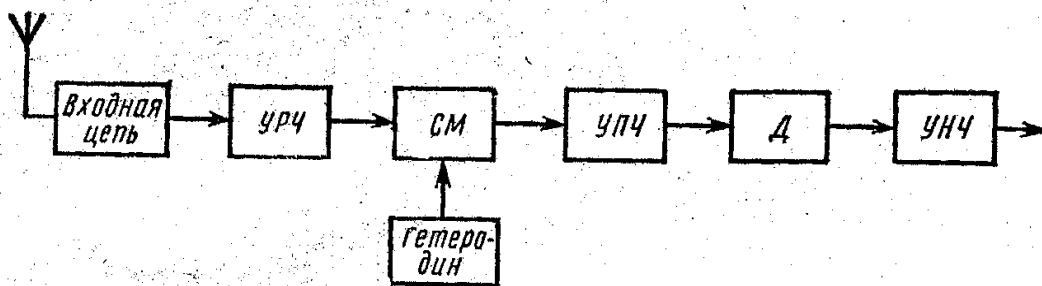


Рис.4.

Одним из основных элементов супергетеродинного приемника является усилитель промежуточной частоты УПЧ. Его контуры имеют фиксированную настройку на постоянную для данного приемника промежуточную частоту. Перед УПЧ включается преобразователь частоты, задача которого состоит в том, чтобы преобразовать частоту принимаемого радиосигнала в промежуточную без искажения модуляции, т. е. преобразовать радиосигнал в сигнал промежуточной частоты.

Благодаря постоянству настройки контуров промежуточной частоты снимаются конструктивные трудности, связанные с настройкой многих контуров на разные частоты диапазона. Это позволяет использовать большое число контуров промежуточной частоты и получить близкую к прямоугольной форму амплитудно-частотной характеристики УПЧ.

Вместе с тем возможность использования многих контуров позволяет при необходимости увеличивать число каскадов для получения нужного усиления.

Путем рационального выбора величины промежуточной частоты можно создать наиболее выгодные условия работы УПЧ, т. е. получить высокое устойчивое усиление, нужную полосу пропускания и хорошую избирательность при небольшом числе каскадов. Из-за постоянства настройки контуров характеристики УПЧ не меняются при настройке приемника на разные частоты, а так как показатели всего приемника определяются в основном характеристиками УПЧ, в супергетеродинном приемнике удастся получить высокую чувствительность и избирательность радиоприемника во всем диапазоне рабочих частот.

Недостатком супергетеродинных приемников является наличие дополнительных частот приема.

Рассмотрим сначала зеркальную частоту приема. Так как промежуточная частота равна абсолютной разности между частотой сигнала и частотой гетеродина, приемник может одновременно принимать радиосигналы с двумя разными несущими частотами, расположенными симметрично по отношению к частоте гетеродина, одна из них меньше частоты гетеродина на промежуточную частоту $f_{пч}$, а другая больше частоты гетеродина на ту же величину (Рис.5).

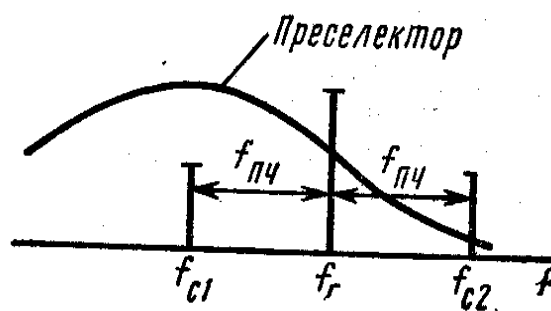


Рис.5.

Такие радиосигналы после преобразования создают сигналы с одинаковыми промежуточными частотами, и их частотное разделение в УПЧ невозможно. Если один из сигналов является полезным, то другой — зеркальный, мешает его приему.

Чтобы устранить прием помехи зеркальной частоты, ее надо достаточно ослабить до преобразования. Это выполняют каскады, предшествующие преобразователю частоты, т. е. входные цепи и усилитель радиочастоты. Они содержат резонансные элементы, которые настраиваются на частоту желаемого радиосигнала, например f_{c1} и пропускают его к преобразователю. Вместе с тем они ослабляют сигнал зеркальной частоты f_{c2} , по отношению к которой эти контуры расстроены (см. Рис.5.).

Таким образом, входное устройство и усилитель радиочастоты создают предварительную избирательность, или предварительную селекцию, по отношению к помехе зеркальной частоты. Отсюда происходит их сокращенное название — п р е с е л е к т о р. В принципе безразлично, какой из двух сигналов с симметричными частотами будет приниматься в качестве полезного и какой подавляться как помеха. Это определяется выбором настройки преселектора на ту или другую из двух симметричных частот.

При изменении частоты гетеродина соответственно меняются симметричные частоты приема, поэтому надо изменять также настройку резонансных элементов преселектора. В современных приемниках обычно применяется сопряжение настроек преселектора и гетеродина. Это означает, что приемник имеет единственную ручку управления, которая одновременно изменяет частоту колебаний гетеродина и резонансную частоту преселектора, сохраняя между ними неизменную разность, равную номинальной промежуточной частоте.

Из сказанного видно, что в супергетеродинных приемниках приходится различать два вида избирательности: ослабление приема помех на зеркальной частоте и на соседних с полезным сигналом частотах. Зеркальная избирательность создается только резонансными элементами преселектора и характеризуется ординатой его нормированной резонансной кривой при расстройке, равной $2f_{пч}$ (см.Рис.5.).

Ослабление приема на соседних частотах создается совместным действием резонансных элементов преселектора и УПЧ. В большинстве случаев при малых расстройках преселектор дает небольшое ослабление приема, и можно считать, что ослабление приема помех частотами, близкими к частоте полезного сигнала, создает лишь УПЧ; это ослабление характеризуется ординатой нормированной резонансной кривой УПЧ при расстройке, равной разности между частотами сигнала и помехи.

Ослабление зеркального приема в преселекторе тем лучше, чем уже резонансная кривая преселектора и чем дальше отстоит зеркальная частота от принимаемой. Разность между ними равна $2f_{пч}$. Поэтому ослабление зеркального приема улучшается при выборе более высокой промежуточной частоты $f_{пч}$ приемника. Однако увеличение $f_{пч}$ ограничивается рядом других причин, в частности нежелательным расширением полосы пропускания УПЧ при использовании резонансных контуров с конструктивно осуществимыми потерями.

Другим проявлением симметричного приема является двойственность настройки. При радиосигнале с частотой f_c , номинальную промежуточную частоту $f_{пч}$ можно получить при частотах гетеродина $f_{г1} = f_c - f_{пч}$ и $f_{г2} = f_c + f_{пч}$. Таким образом, один и тот же сигнал с частотой f_c , может быть принят при двух разных частотах гетеродина, т. е. в двух разных точках шкалы настройки приемника, причем эти частоты отстоят одна от другой на $2f_{пч}$. Как видно из Рис.5., применение

преселектора ослабляет прием в одном из этих двух случаев, при достаточном ослаблении двойственность настройки исчезает.

Недостатком супергетеродинных приемников является также возможность постоянного приема помехи с частотой, равной или близкой к промежуточной частоте $f_{пч}$. Если такая помеха действует на входе преобразователя частоты, то она может пройти через него без преобразования частоты и далее усиливаться в УПЧ. Подобный прием помехи происходит по схеме прямого усиления независимо от частоты гетеродина. Во избежание этого преселектор должен достаточно эффективно подавлять помеху с частотой $f_{пч}$ до входа преобразователя. Кроме того, желательно выбирать величину номинальной промежуточной частоты приемника так, чтобы она не совпадала с частотами мощных источников помех.

При неудачном выборе режима работы преобразователя возможно возникновение ряда других дополнительных частот приема. Борьба с ними ведется путем рационального выбора режима преобразователя и улучшения избирательных свойств преселектора.

Для ослабления приема на дополнительных частотах иногда применяют более сложные супергетеродинные схемы, в которых производится двукратное и даже трехкратное преобразование частоты.

2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ РАДИОПРИЁМНИКОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Основными узлами радиоприемников являются входная цепь, усилитель радиочастоты, преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, детектор и усилитель низкой частоты (УНЧ).

2.1. Входная цепь

Входной цепью называется часть схемы радиоприемника между точками подключения антенны и первого активного элемента приемника.

Входная цепь предназначена для эффективной передачи сигнала из антенны в первый каскад приемника и его предварительной избирательности по частоте. В общем случае входная цепь представляет собой пассивный четырехполюсник, состоящий из различного числа колебательных контуров, настроенных на фиксированные частоты или перестраиваемых в пределах рабочего диапазона частот приемника.

Основные характеристики входных цепей следующие.

Коэффициент передачи входной цепи — это отношение напряжения $U_{вх}$ радиосигнала на входе первого каскада к э. д. с., наводимой в приемной антенне электромагнитным полем принимаемого сигнала:

$$K = U_{вх} / E_A.$$

Входное устройство обладает частотно-избирательными свойствами, поэтому K изменяется при изменении частоты, а зависимость $K(f)$ имеет вид резонансной кривой. Максимальное значение K_0 соответствующее резонансной частоте f_0 называется резонансным коэффициентом передачи.

Избирательность входной цепи определяется формой резонансной кривой. Ее полоса пропускания должна быть не уже требуемой полосы пропускания всего высокочастотного тракта. В супергетеродинных приемниках входная цепь играет роль преселектора и вид ее резонансной кривой определяет ослабление сигнала по зеркальному каналу.

Диапазон рабочих частот входной цепи должен совпадать с диапазоном рабочих частот всего приемника.

Эксплуатационная надежность входной цепи определяет ее способность работать в течение определенного срока с заданной вероятностью отказа.

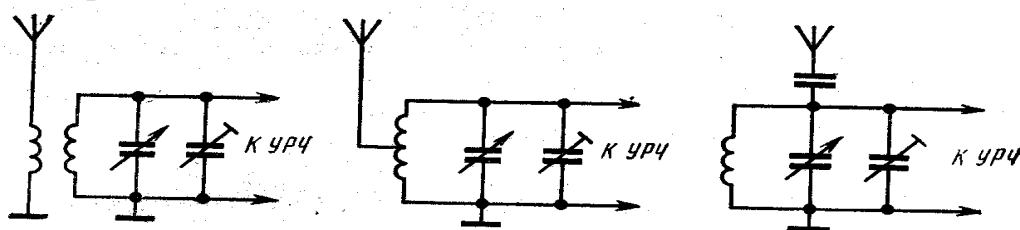


Рис.6.

Кроме того, часто требуется, чтобы входная цепь позволяла использовать различные антенны с неодинаковыми параметрами при сохранении неизменными основных показателей приемника.

Очевидно, что отдельные характеристики входной цепи взаимосвязаны; более того, требования, предъявляемые к ним, часто оказываются противоречивыми. Например, требование получения максимально возможного коэффициента передачи приводит к ухудшению избирательности по зеркальному каналу и сильному влиянию разброса параметров антенны на характеристики входной цепи. Поэтому при конструировании входных цепей необходимо находить компромиссные решения.

По числу контуров входные цепи делятся на одноконтурные, двухконтурные и многоконтурные. По виду связи с антенной бывают входные цепи с индуктивной, автотрансформаторной и емкостной связью, а по методу настройки — с фиксированной и переменной настройкой. В радиоприемниках с переменной настройкой, как правило, используются одноконтурные входные цепи, а с фиксированной настройкой - двухконтурные и многоконтурные.

Варианты простейших схем входных цепей приведены на Рис.6. Как следует из рисунка, входная цепь представляет собой систему двух связанных контуров (антенна и колебательный LC-контур). Для эффективного подавления помех и получения максимального

коэффициента передачи желательно работать при максимальном коэффициенте связи и настройке каждого контура на частоту принимаемого радиосигнала. Однако такой режим работы непригоден в перестраиваемых входных цепях, так как при его реализации необходимо одновременно перестраивать оба контура и каждый раз подбирать оптимальную связь между ними, что очень сложно сделать. Поэтому в реальных схемах антенный контур делают ненастраиваемым, что позволяет уменьшить изменение коэффициента передачи входной цепи при перестройке приемника, а для увеличения диапазона перестройки связь между контурами делают слабой. Избирательность во входной цепи осуществляется только за счет второго контура, параметры которого подбирают по заданным значениям граничных частот рабочего диапазона.

При работе на фиксированных частотах связь контура входной цепи с антенной можно выбрать оптимальной, за счет чего улучшаются характеристики входной цепи. Например, в УКВ приемниках оптимальная связь позволяет повысить отношение сигнал/шум на входе приемника, что способствует увеличению его реальной чувствительности.

2.2. Усилитель радиочастоты

Усилителями радиочастоты (УРЧ) называют каскады радиоприемников, в которых усиление сигнала происходит на несущей частоте. Усилитель радиочастоты включается непосредственно за входной цепью, а его выход подключается либо к детектору (в приемнике прямого усиления), либо к преобразователю частоты (в супергетеродинном приемнике).

Так как усилитель радиочастоты должен обладать частотно-избирательными свойствами, в качестве нагрузки в его каскадах применяются колебательные контуры, т. е. усилители радиочастоты являются резонансными усилителями. При этом избирательность усилителей радиочастоты должна быть достаточно высокой, ибо входная цепь приемника, которая в большинстве случаев содержит лишь один колебательный контур, не в состоянии обеспечить необходимой избирательности.

В приемнике, который работает в диапазоне частот, контуры резонансного усилителя должны перестраиваться. Такая перестройка обычно осуществляется при помощи конденсаторов переменной емкости. Для уменьшения числа конденсаторов в современных радиоприемниках обычно применяют один, максимум два одноконтурных каскада УРЧ.

Усилители радиочастоты осуществляют избирательное усиление слабого полезного сигнала и увеличивают чувствительность приемника за счет снижения его коэффициента шума. Основными электрическими характеристиками УРЧ являются резонансный коэффициент усиления,

избирательность, коэффициент шума, искажения, вносимые усилителем, и устойчивость работы.

Резонансным коэффициентом усиления называется отношение амплитуды напряжения несущей частоты радиосигнала на выходе УРЧ ($U_{\text{вых}}$) к амплитуде напряжения несущей частоты радиосигнала на его входе ($U_{\text{вх}}$) при настройке контуров УРЧ в резонанс на несущую частоту:

$$K_o = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} ,$$

или для коэффициента усиления по мощности

$$K_p = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}.$$

Коэффициент K_o , используется для характеристики УРЧ в приемниках длинных, средних и коротких волн, а K_p — для приемников УКВ.

И з б и р а т е л ь н о с т ь УРЧ определяют по его амплитудно-частотной характеристике. По оси абсцисс откладывают величину расстройки несущей частоты радиосигнала f_c , по отношению к резонансной частоте усилителя f_p ($\Delta f = |f_c - f_p|$) а по оси ординат — ослабление $d = K/K_o$.

К о э ф ф и ц и е н т ш у м а $N_{\text{урч}}$ определяет шумовые свойства усилителя, а в связи с тем, что УРЧ является одним из первых каскадов радиоприемника, его коэффициент шума определяет общий коэффициент шума всего приемника. Для уменьшения $N_{\text{урч}}$ используют специальные схемы усилителей высокой частоты или специальные типы усилителей.

И с к а ж е н и я в усилителях радиочастоты имеют все три возможных вида: *амплитудные, фазовые и нелинейные*.

Усилители радиочастоты можно классифицировать по ряду признаков: типу активного элемента (ламповые, транзисторные, параметрические и др.), числу каскадов, виду схемы.

Транзисторные усилители радиочастоты выполняются как по схеме с общим эмиттером, так и по схеме с общей базой. При работе приемников в диапазонах длинных, средних и коротких волн используют схемы с общим эмиттером. В УРЧ широко применяются так называемые к а с к о д н ы е схемы, которые представляют собой два последовательно включенных каскада. Один из них является каскадом с общим эмиттером, а второй — с общей базой, при этом нагрузкой первого активного элемента служит входная проводимость второго. При таком сочетании первый каскад имеет коэффициент усиления по напряжению, близкий к единице, но большой коэффициент усиления по мощности. Второй каскад имеет большой коэффициент усиления по напряжению. Так как в обоих каскадах можно использовать относительно малошумящие активные элементы, каскодные схемы позволяют создать малошумящие усилители с большими значениями K и K_p .

Вариант транзисторной каскодной схемы показан на Рис.7

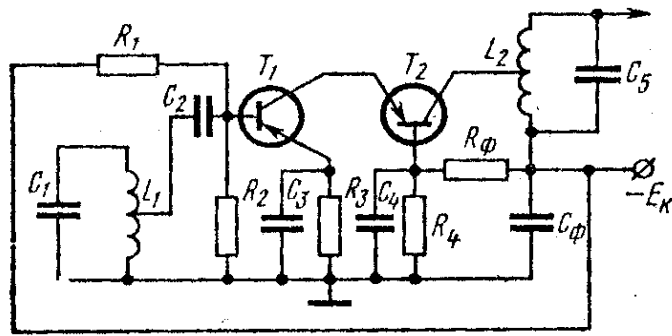


Рис.7.

Транзистор T_1 включен по схеме с общим эмиттером, а транзистор T_2 — по схеме с общей базой. По постоянному току оба транзистора включены последовательно. Так как емкость конденсатора C_2 выбирают достаточно большой, нагрузкой транзистора T_1 по переменному току является входная проводимость транзистора T_2 .

Конструкции усилителей радиочастоты меняются в зависимости от диапазона волн, на которых работает радиоприемник.

В диапазоне длинных, средних и коротких волн используются ламповые или транзисторные резонансные усилители, собранные по схеме с общим катодом (общим эмиттером) или каскодные схемы. Так как обычно радиоприемники ДВ, СВ и КВ являются перестраиваемыми, при их конструировании приходится уделять большое внимание разбивке диапазона рабочих частот приемника на поддиапазоны, а также точности его настройки и конструкциям шкального и верньерного устройств. При этом собственные шумы УРЧ не имеют существенного значения.

В диапазоне УКВ основную роль играют собственные шумы приемника и для уменьшения коэффициента шума приемника используют, как отмечалось, специальные малошумящие усилители. Конструкции таких усилителей очень сложны.

2.3. Преобразователь частоты

В супергетеродинных приемниках за усилителем радиочастоты следует преобразователь частоты, который преобразует переменную частоту входного радиосигнала в постоянную для данного приемника промежуточную частоту без изменения вида и характера модуляции. Процесс преобразования частоты рассмотрен в п.1.

Важным параметром преобразователей частоты являются собственные шумы, так как он представляет собой один из первых каскадов приемника и его шумы могут сильно влиять на общий коэффициент шума всего радиоприемника.

Существенным является то обстоятельство, что уровень собственных шумов преобразователя частоты зависит от гетеродина. Поэтому в радиоприемниках используют специальные балансные схемы преобразователей частоты, в которых можно получить меньший уровень шума. Эти схемы содержат два диода, которые включены так, что в цепи нагрузки происходит сложение токов промежуточной частоты и взаимная компенсация токов с частотой гетеродина и шумов. Одна из таких схем приведена на Рис.8.

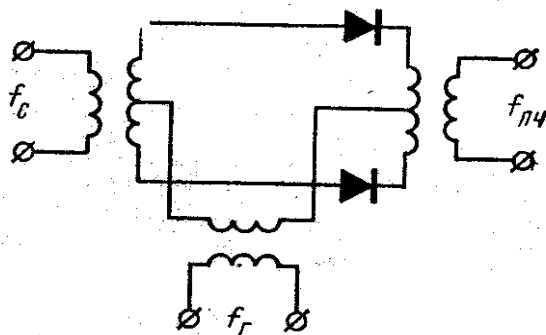


Рис.8.

К диодам приложены равные по амплитуде и противофазные напряжения радиосигнала, а напряжение гетеродина подано синфазно. Токи диодов проходят по первичной обмотке выходного трансформатора во встречных направлениях, поэтому в выходном напряжении происходит компенсация синфазных и сложение противофазных составляющих. Это, в частности, приводит к компенсации шумов гетеродина, что улучшает коэффициент шума приемника примерно в 1,5 раза. Кроме того, в балансной схеме происходит компенсация паразитной амплитудной модуляции гетеродина и отсутствует проникновение колебаний гетеродина в антенну.

2.4. Усилитель промежуточной частоты

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) является одним из узлов супергетеродинного приемника, который обеспечивает основное усиление высокочастотных сигналов.

УПЧ, так же как и УРЧ, являются избирательными усилителями. Однако УПЧ работают в условиях, значительно отличающихся от условий работы УРЧ. Усилители промежуточной частоты работают на фиксированной частоте и их основными схемами являются схемы полосовых усилителей. При этом частота настройки полосового усилителя может быть выбрана близкой к оптимальной для данного приемника.

Это позволяет использовать сложные колебательные системы, с помощью которых удастся создать хорошую форму амплитудно-частотной характеристики, обеспечивающую высокую избирательность и, кроме того, получить большой коэффициент устойчивого усиления. УПЧ современных супергетеродинных приемников работают на фиксированных

частотах от 110 кГц до 200 МГц, имеют коэффициент усиления от 10^2 до 10^8 (80 ÷ 100 дБ) при полосе пропускания от сотен герц до десятков мегагерц и содержат до десяти усилительных каскадов.

УПЧ имеют следующие основные электрические характеристики:

коэффициент усиления K_o , которым называется коэффициент усиления УПЧ на средней частоте полосы пропускания;
избирательность, которую оценивают шириной полосы пропускания и коэффициентом прямоугольности резонансной кривой;
коэффициент шума; искажения сигнала; устойчивость и надежность работы.

В настоящее время широко используются четыре типа усилителей промежуточной частоты: резонансные усилители с контурами, настроенными на одну частоту; резонансные усилители с попарно расстроенными контурами; полосовые усилители с двухконтурными фильтрами; усилители с фильтрами сосредоточенной селекции.

Достоинством резонансных усилителей с контурами, настроенными на одну частоту, является простота схемы и ее регулировки, а также слабое влияние нестабильности контурных емкостей на характеристики УПЧ. Основной недостаток таких схем - малая избирательность.

Резонансные усилители с расстроенными контурами обладают большей избирательностью, но они сложнее в регулировке и их характеристики при изменении контурных емкостей значительно менее стабильны.

Полосовые усилители с двухконтурными фильтрами являются значительно более узкополосными по сравнению с резонансными усилителями, а их частотная характеристика ближе к прямоугольной. Однако эти усилители сложнее в регулировке и чем выше промежуточная частота, тем хуже они работают.

В настоящее время, в УПЧ, широко применяют усилители с фильтрами сосредоточенной селекции (ФСС), которые позволяют получить узкую полосу пропускания. В качестве ФСС используют многозвенную цепь реактивных элементов, нагруженную на сопротивление, равное характеристическому, а каждое звено такой цепи настраивают на частоту $f_{нч}$. Одна из возможных схем ФСС приведена на Рис. 9.

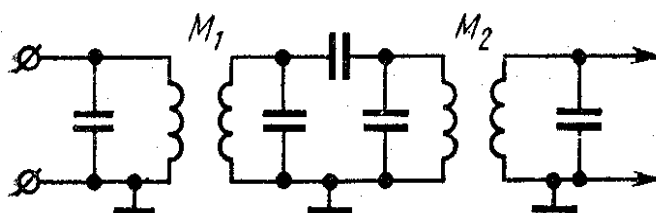


Рис.9.

В качестве ФСС здесь использованы три колебательных контура с внешне-емкостной связью. Поскольку в ФСС содержатся три связанных контура, резонансная кривая всего каскада имеет три максимума и ее форма может быть достаточно близкой к прямоугольной.

В качестве ФСС могут служить и электромеханические фильтры, которые позволяют получить резонансные характеристики с очень хорошим коэффициентом прямоугольности. В настоящее время электромеханические фильтры выпускаются в виде законченных конструкций, имеют небольшие размеры и хорошо работают на частотах от 10 кГц до 1 МГц.

2.5. Детектор

Принятый сигнал, усиленный в высокочастотном тракте (в каскадах УРЧ приемника прямого усиления или в каскадах УРЧ и УПЧ супергетеродинного приемника), поступает на детектор. В детекторе происходит преобразование модулированного высокочастотного колебания в колебание низкой частоты, соответствующее изменениям подвергнутого модуляции параметра высокочастотного колебания. В зависимости от вида модуляции различают амплитудные, частотные, фазовые и импульсные детекторы.

В случае приема радиоимпульсов импульсный детектор должен преобразовывать их в видеоимпульсы, форма которых соответствует изменениям формы огибающей принимаемых радиоимпульсов. Если радиоимпульсы обладают модуляцией по амплитуде, длительности, частоте, фазе или образуют кодовые комбинации, то детектор должен преобразовывать их в последовательность видеоимпульсов, обладающих тем же видом модуляции или образующих такие же комбинации. Дальнейшее преобразование последовательности видеоимпульсов в сигнал низкой частоты производится специальным устройством и не входит в задачи детектора.

При детектировании амплитудно-модулированных сигналов наибольшее распространение получили диодные детекторы, характеристики которых оптимальны при «линейном» режиме детектирования. Для создания подобного режима на вход детектора необходимо подавать достаточно большой сигнал, что достигается за счет соответствующего коэффициента усиления высокочастотного приемника.

Детектирование частотно-модулированных сигналов осуществляется с помощью частотных детекторов, наилучшим из которых является дискриминатор.

В последнее время широко распространены радиовещательные приемники, которые могут принимать как амплитудно, так и частотно-модулированные сигналы. В них используются детекторы, схемы которых

за счет переключения изменяются. В диапазоне ДВ, СВ и КВ это будут схемы АМ-детекторов, а в диапазоне УКВ — ЧМ-детекторов.

В качестве импульсных детекторов применяются обычные диодные детекторы. Однако детектирование радиоимпульсов всегда сопровождается искажениями, связанными с переходными процессами в детекторе. Для их уменьшения приходится уменьшать постоянную времени выходной цепи детектора (RC), что снижает коэффициент передачи детектора K_d .

Кроме того, при детектировании радиоимпульсов спектр модулирующего сигнала часто оказывается весьма широким, а промежуточная частота может быть близкой к максимальным модулирующим частотам. В этом случае необходимо принимать дополнительные меры по фильтрации промежуточной частоты на выходе детектора. Для этого служат специальные схемы с дросселем L_Φ (Рис. 10, а) или двухполупериодные схемы импульсных детекторов (Рис. 10, б).

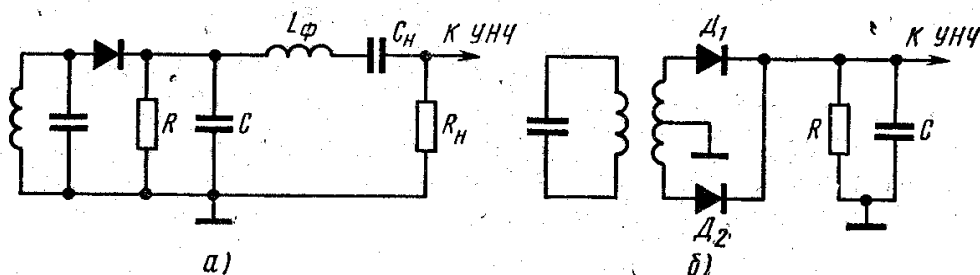


Рис.10.

2.6. Усилитель низких частот (Усилитель звуковых частот – УЗЧ)

Низкочастотный сигнал на выходе детектора, как правило, имеет небольшую величину. Для приведения в действие оконечного устройства его необходимо усилить. Эту задачу решают с помощью усилителя низких частот (УНЧ), основной функцией которого является равномерное усиление всех спектральных составляющих низкочастотного сигнала. В простейшем случае им может быть RC-усилитель с числом каскадов, определяемым выходной мощностью радиоприемника. В более сложных случаях УНЧ являются многокаскадные усилители с широкой полосой пропускания, которая достигается за счет применения отрицательной обратной связи или схем частотной коррекции.

3. РУЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛИРОВКИ В РАДИОПРИЕМНИКАХ

Все виды регулировок, используемых в современных радиоприемниках, можно разбить на две группы: *начальные регулировки*,

которые производятся при изготовлении или ремонте приемника, и регулировки *в процессе эксплуатации*. Последние в свою очередь делятся на ручные и автоматические. При этом ручные регулировки применяются параллельно с автоматическими, взаимно дополняя друг друга.

Так как большинство приемников работает в широком диапазоне частот, при воздействии помех и значительных колебаниях напряженности электромагнитного поля сигнала в точке приема, необходимо в общем случае иметь следующие регуляторы: регулятор, перестраивающий приемник с одной частоты на другую, регулятор усиления и регулятор полосы пропускания.

Выбор варианта эксплуатационной настройки на заданную частоту сигнала зависит от назначения приемника и сильно влияет на его конструкцию.

Если приемник предназначен для приема сигналов одной заранее известной частоты, он может иметь фиксированную настройку, которая производится при начальной регулировке и не требует какой-либо другой эксплуатационной настройки.

В случае приема сигналов различной частоты необходимо иметь регулятор, позволяющий настраивать приемник на разные частоты. Наиболее распространенной является ручная настройка, которая обычно производится одной ручкой. При этом настройка колебательных контуров (УРЧ в приемниках прямого усиления, преселектора и гетеродина в супергетеродинных приемниках) производится при помощи блока конденсаторов переменной емкости (КПЕ) с общей осью, на которой расположены роторы всех конденсаторов. Ось блока КПЕ механически связана через верньерное устройство с ручкой плавной настройки и с указателем шкалы принимаемых частот.

В связи с тем, что плавное изменение настройки колебательных контуров в широком диапазоне частот неосуществимо, при необходимости весь рабочий диапазон приемника разбивают на поддиапазоны. В каждом поддиапазоне настройка осуществляется описанным выше способом. Смена поддиапазонов производится переключателем, который сменяет комплект катушек всех контуров. Обычно при переключении поддиапазонов производится также смена шкалы настройки.

При большом числе поддиапазонов неработающие индуктивные катушки вместе с подстроечными конденсаторами образуют колебательные контуры, резонансные частоты которых могут оказаться в диапазоне рабочих частот приемника. Из-за паразитных связей с работающими катушками такие колебательные контуры могут искажать характеристики приемника. Поэтому неработающие катушки нужно либо закорачивать, либо экранировать.

Конструктивно переключатель может быть выполнен в виде клавиатуры, кнопок, вращающегося устройства с соответствующим числом фиксированных положений и т. д.

Клавишные переключатели диапазонов используют в вещательных приемниках, где число поддиапазонов достаточно велико, а ввиду относительно низкой частоты входного сигнала длина соединительных проводов не играет существенной роли.

В тех случаях, когда приемник предназначается для установки вдали от оператора, применяют дистанционную ручную настройку. При этом у оператора имеется пульт управления, на котором находится ручка настройки, связанная с осью блока КПЕ приемника электромеханическим приводом с достаточно точной передачей угла. Переключение поддиапазонов также производится с пульта управления.

Для повышения точности настройки современные приемники имеют визуальные индикаторы настройки. Обычно на такие индикаторы подается напряжение с выхода детектора, которое оказывается максимальным при точной настройке приемника.

Кроме ручной, используют автоматическую подстройку частоты (АПЧ) приемника. Основное назначение АПЧ состоит в коррекции неточной первоначальной настройки и уменьшении расстройки, появляющейся во время приема выбранной радиостанции. Расстройка связана главным образом с нестабильностью гетеродина.

В радиоприемниках широко применяют регулировку усиления. Так как современные приемники обычно предназначены для приема большого числа радиостанций, сигналы которых создают на входе приемника напряжения, меняющиеся в очень широких пределах (от нескольких микровольт до сотен милливольт), необходимо иметь возможность изменять усиление как высокочастотного, так и низкочастотного тракта приемника. Большое усиление, требующееся для приема слабых сигналов, оказывается вредным в случае приема сильных сигналов, поскольку при этом возникает значительная перегрузка усилительных каскадов, приводящая к появлению нелинейных искажений. Поэтому в приемниках применяют регуляторы усиления, позволяющие уменьшить усиление при приеме сильных сигналов, устраняя их перегрузку.

Регуляторы усиления могут быть как ручными, так и автоматическими. В простейших конструкциях приемников регулируют только величину усиления низкочастотного тракта, для чего служат делители напряжения, коэффициент деления которых плавно меняется вручную. В более совершенных приемниках изменяют усиление не только низкочастотного, но и высокочастотного тракта. Последнее осуществляется автоматически за счет изменения постоянного напряжения смещения на лампах или транзисторах. Автоматическая регулировка усиления (АРУ) необходима в тех случаях, когда происходит непрерывное беспорядочное изменение напряженности поля сигнала в точке приема, что может быть связано как с изменением условий распространения радиоволн, так и с изменением взаимного расположения передающей и приемной антенн (например, при самолетной радиосвязи).

Автоматическая регулировка усиления служит для сохранения приблизительно постоянной величины напряжения сигнала на выходе приемника и защиты его усилительных каскадов от перегрузки при изменениях интенсивности сигнала на входе.

Структурная схема супергетеродинного приемника амплитудно-модулированных колебаний с АРУ приведена на рис.11.

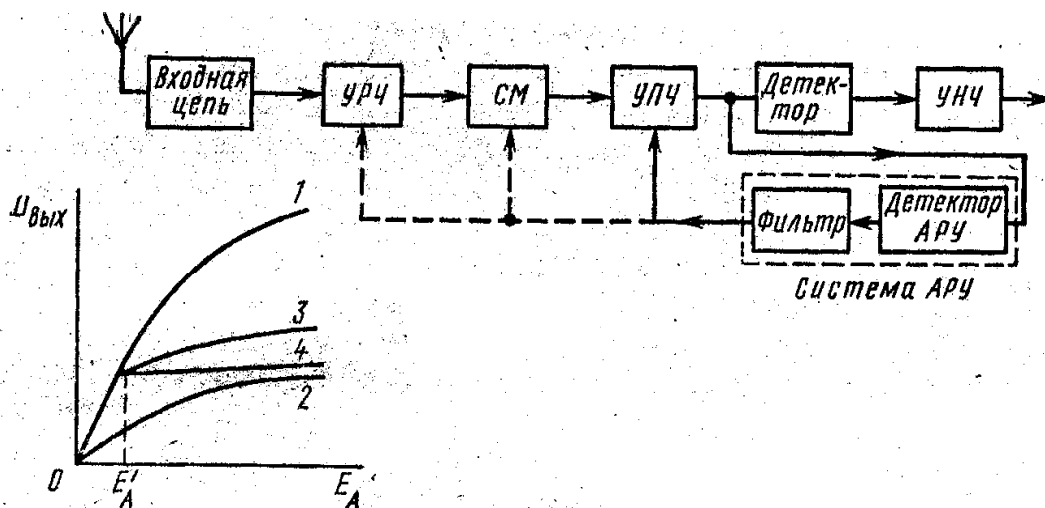


Рис.11.

На вход системы АРУ подается сигнал с выхода усилителя промежуточной частоты. Этот сигнал создает на выходе детектора АРУ постоянное напряжение, пропорциональное амплитуде несущего колебания. Для того чтобы напряжение на выходе детектора АРУ не зависело от глубины модуляции, его подают на RC-фильтр, который пропускает только постоянное напряжение. Это постоянное отрицательное напряжение поступает на каскады, предшествующие детектору АРУ, и уменьшает их коэффициент усиления. Оно может подаваться как на каскады УРЧ, так и на преобразователь частоты и УПЧ. Однако подача отрицательного напряжения на преобразователь частоты и первые каскады УРЧ нежелательна. Изменение режима активного элемента преобразователя частоты приводит к усилению специфических комбинационных помех, а уменьшение коэффициента усиления первых каскадов УРЧ увеличивает коэффициент шума приемника.

Рассмотренная система АРУ называется простой. Ее основной недостаток — уменьшение усиления приемника даже при самых слабых сигналах. Этот недостаток устраняется в более сложной системе АРУ с задержкой. Система АРУ с задержкой не работает при сигналах, амплитуда которых меньше определенного, заранее заданного уровня, называемого напряжением задержки. При этом детектор АРУ заперт,

дополнительное отрицательное напряжение на его выходе равно нулю и усиление высокочастотного тракта максимально. Если напряжение сигнала больше напряжения задержки, система АРУ с задержкой работает так же, как простая система АРУ.

Для улучшения действия системы автоматического регулирования после детектора АРУ применяют усилители постоянного тока. Такие системы АРУ называют **у с и л е н н ы м и**.

Типичные характеристики различных систем АРУ, изображающие зависимость напряжения низкой частоты на выходе приемника от амплитуды несущей э. д. с. сигнала в антенне при постоянном коэффициенте модуляции, приведены на том же Рис.11.

Кривая 1 соответствует приемнику без АРУ, кривая 2 — системе простой АРУ, кривая 3 — системе АРУ с задержкой, кривая 4— усиленной системе АРУ.

Наконец, в приемниках применяют ручную регулировку полосы пропускания, позволяющую при сильных помехах уменьшать полосу пропускания УПЧ, что уменьшает полосу пропускания всего приемника. Уменьшение полосы пропускания приемника улучшает отношение сигнал/шум, что приводит к увеличению помехоустойчивости приема. Изменение полосы пропускания осуществляется либо путем изменения величины связи между контурами в каскадах УПЧ, либо путем включения в высокочастотный тракт дополнительных узкополосных фильтров

В вещательных радиоприемниках производится регулировка полосы пропускания и низкочастотного тракта, которая называется регулировкой тембра.

В заключение отметим, что системы автоматической подстройки частоты и автоматического регулирования являются разновидностями системы автоматического регулирования, использующей отрицательную обратную связь. В такой системе, так же как в усилителях, могут появиться значительные фазовые сдвиги, которые превращают отрицательную обратную связь в положительную и приводят к самовозбуждению приемника. Поэтому при проектировании систем АПЧ и АРУ необходимо проводить исследования их на устойчивость.

4.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Изобразите и объясните структурную схему приёмника прямого усиления.
2. Изобразите и объясните структурную схему супергетеродинного приёмника.
3. В чем преимущества и недостатки супергетеродинных приёмников по сравнению с приёмниками прямого усиления?
4. Что такое зеркальный канал приёма?
5. Как повысить избирательность приёмника по зеркальному каналу?
6. Изобразите график избирательности. Как он связан резонансной кривой приёмника?

7. Объясните назначение входных цепей и назовите основные показатели, которые их характеризуют.
8. Какими соображениями руководствуются при выборе величины промежуточной частоты?
9. Каковы особенности усилителей промежуточной частоты?
10. Как определяется коэффициент усиления многокаскадного усилителя?
11. Что называется коэффициентом передачи, детекторной характеристикой и входной проводимостью детектора?
12. Нарисуйте функциональную схему системы АРУ. Объясните назначение отдельных элементов схемы.

5. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЁМНИКА

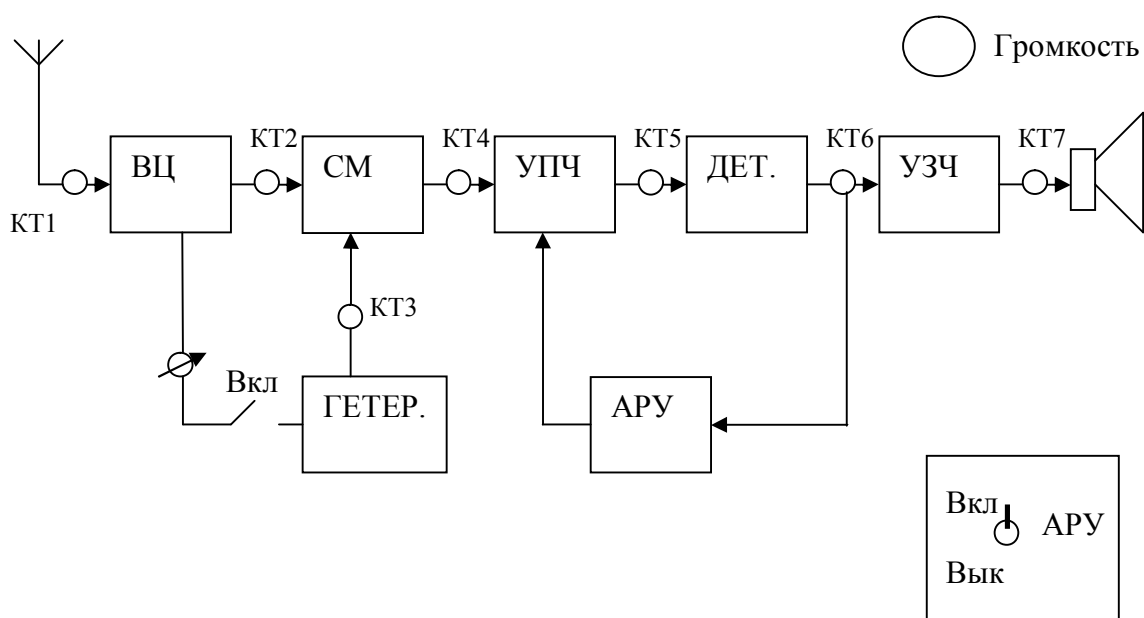


Рис. 12. Схема экспериментальной установки.

Задание 1. Снять амплитудно–частотную характеристику (АЧХ) усилителя звуковой частоты (УЗЧ).

Для этого отключить АРУ и Гетеродин приёмника. На контрольную точку КТ6 подать сигнал с генератора ГНЧ (генератора низкой частоты). Установить выходное напряжение ГНЧ 1В и поддерживать его постоянным в процессе измерения АЧХ. К контрольной точке КТ7 подключить вольтметр, в режиме измерения НЧ – сигнала. Регулятор «Громкость» установить в положение при котором на частоте $f = 20\text{кГц}$, $U_{\text{вых}} = 0,015\text{В}$. Изменяя частоту генератора НЧ в диапазоне от 20Гц до 6500 Гц, снять зависимость $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}(f)$ при $U_{\text{вх}} = \text{const}$. Результаты занести в таблицу:

$f(\Gamma\text{ц})$									
$U(\text{В})$									

Определить максимальный коэффициент передачи $K_{max} = \frac{U_{выхmax}}{U_{вх}} =$ По результатам измерения определить полосу пропускания УЗЧ.

Задание 2. Снять АЧХ усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

Для этого АРУ – выключить, ГНЧ – выключить, Гетеродин – выключить. Включить ГВЧ и с выхода -20 дБ подать напряжение на контрольную точку КТ4. Вольтметр перевести в режим измерения ВЧ (нажать кнопку ВЧ) и подключить к контрольной точке КТ5. На генераторе ВЧ установить уровень выходного сигнала соответствующий 0 дБ (по индикатору уровня ВЧ). Проконтролировать выходное напряжение ГВЧ (- 20 дБ) вольтметром, установить $U_{вх} = 0,08 \text{ В}$. Снять АЧХ и результаты занести в таблицу:

$f(\kappa\Gamma\text{ц})$									
$U(\text{мВ})$									

Определить частоту, на которой выходное напряжение соответствует U_{max} . Для этой частоты определить $K_{max\text{ унч}} = \frac{U_{выхmax}}{U_{вх}} =$.

Определить полосу пропускания УПЧ на уровне 0,7 от U_{max} , $f_{cp} = 455 \text{ кГц}$.

Определить изменение ΔK_y , $\Delta K_y = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{вх}}$.

Задание 3. Снять детекторную характеристику. (АРУ выкл.).

1. Для этого нужно на вход УПЧ подать амплитудно-модулированное (АМ) колебание с генератора ВЧ (выход -20дБ). Настроить генератор ВЧ на частоту 455кГц (1-й поддиапазон). Регулировкой «Уровень ВЧ» установить – 0 дБ (что соответствует $U_{вых\ вч} = 0,08 \text{ В}$). Включить генератор НЧ с помощью которого осуществляется внутренняя модуляция ГВЧ. Установить уровень $U_{вых\ нч}$ генератора НЧ равным 0 В (по индикатору генератора НЧ). Установить частоту генератора ГНЧ равной 1кГц= 1000 Гц (2-й поддиапазон). К контрольной точке КТ4 через тройник подключить канал-А осциллографа, а к КТ7 – канал-В двухлучевого осциллографа. С помощью осциллографа наблюдать модулированное колебание на входе УПЧ снимаемое с КТ4 и протектированное, усиленное в УЗЧ, снимаемое с КТ7.

С контрольной точки КТ6 подать сигнал на второй вход вольтметра. Установить режим измерения НЧ. Предел измерения 2В. Снять зависимость $U_{вых}$ детектора по вольтметру от амплитуды модулирующего колебания

(измерять по осциллографу, амплитуда равна 1/2 размаха колебания). Амплитуду модулирующего колебания изменять ручкой ГНЧ – $U_{\text{вых}}$.

$U_{\text{вых}} (мВ)$									
$U_{\text{вых}} \text{ дет} (В)$									

Снять детекторную характеристику (АРУ включить)

$U_{\text{вых}} (мВ)$									
$U_{\text{вых}} (В)$									

Задание 4. Измерить частоту гетеродина.

1. Включить тумблер «гетеродин». К контрольной точке КТ3 подключить вход-1 частотомера. Измерить частоту гетеродина при крайнем левом положении регулировки частоты и крайнем правом положении (черная ручка левее гетеродина).

Задание 5. Снять амплитудно-частотную характеристику входной цепи.

Для этого соединить выход (- 20 dB) ГВЧ с контрольной точкой КТ1. К контрольной точке КТ2 подключить вход-1 вольтметра и перевести его в режим измерения ВЧ (нажать кнопку ВЧ). Изменяя частоту генератора ГВЧ (II диапазон) от 720 кГц до 830 кГц снять АЧХ входной цепи. Данные занести в таблицу.

$f_{\text{гвч}} (кГц)$									
$U_{\text{вых}} (мВ)$									

Задание 6. Снять амплитудно-частотную характеристику приемника.

Для этого АРУ выключить. С выхода генератора ГВЧ (- 40 dB) подать сигнал на контрольную точку КТ1. К контрольной точке КТ3 подключить Вход 1 частотомера. К контрольной точке КТ7 подключить вход-2 вольтметра и перевести его в режим измерения НЧ (нажать кнопку НЧ). Включить генератор ГНЧ и установить выходную частоту $f_{\text{ГНЧ}} = 1000 \text{ Гц}$ (1 кГц) (II диапазон ГНЧ). Установить $U_{\text{вых}} = 1 \text{ В}$. Установить частоту ГВЧ $f_{\text{ГВЧ}} = 1205 \text{ кГц}$.

Изменяя частоту гетеродина (черная ручка) добиться показания частотомера $f = 1205 \text{ кГц}$ ($U_{\text{вых}} = 438 \text{ мВ}$). Изменяя частоту гетеродина (отстраивая в обе стороны на $\pm 10 \text{ кГц}$ от средней частоты $f = 1205 \text{ кГц}$) снять зависимость:

$f_r (кГц)$									
$U_{\text{вых}} (мВ)$									

Отчёт

Отчёт должен содержать:

1. Функциональную схему измерений.
2. Таблицы результатов измерений и графики.
3. Выводы по результатам измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов И.Я. Курс лекций по основам радиоэлектроники: Учебное пособие/ Н. Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 2005.-168с.
2. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2002.-510с.
3. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. М.: Радио и связь, 1990.-512с.
4. Радиоприемные устройства. Под редакцией В.И.Сифорова: Учебник для вузов. М.: «Сов. радио», 1974.-558с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	3
2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ РАДИОПРИЕМНИКОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	12
2.1. Входная цепь.....	12
2.2. Усилитель радиочастоты.....	14
2.3. Преобразователь частоты.....	16
2.4. Усилитель промежуточной частоты.....	17
2.5. Детектор.....	19
2.6. Усилитель низких частот (Усилитель звуковых частот – УЗЧ).....	20
3. РУЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛИРОВКИ В РАДИОПРИЕМНИКАХ.....	20
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	24
5. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЁМНИКА.....	25
6. ЛИТЕРАТУРА.....	28

СУПЕРГЕТЕРОДИННЫЙ ПРИЁМНИК

Составитель: Клюев Виктор Федорович

Практикум

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
« Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского».
603950, Нижний Новгород, пр.Гагарина, 23