Министерство образования Российской Федерации

Воронежский государственный технический университет

Радиотехнический факультет

Кафедра систем информационной безопасности

Курсовой проект по дисциплине

"Устройства приема и обработки сигналов"

Разработал студент группы РТ-001

Руководитель В.В. Бутенко

Нормоконтролер В.В. Бутенко

2004

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение

1. Проектирование структурной схемы приемника.

1.1. Выбор структурной схемы приемника.

1.2. Расчет полосы пропускания. Определение требований к системе АПЧ.

1.3. Выбор промежуточной частоты.

1.4. Выбор схемы преселектора по требованиям к чувствительности.

1.5. Выбор схемы преселектора по требованиям к избирательности.

1.6. Выбор избирательных систем тракта промежуточной частоты.

1.7. Выбор транзисторов и расчет их параметров.

1.8. Выбор и распределение усиления приемника.

1.9. Эскизный расчет УНЧ.

1.10. Предварительный расчет источников питания.

1.11. Результаты расчета структурной схемы.

2. Электрический расчет линейного тракта приемника.

2.1. Расчет входной цепи.

2.2. Расчет усилителя радиочастоты.

2.3. Расчет усилителя промежуточной частоты.

2.4. Расчет преобразователя частоты.

2.5. Расчет частотного детектора.

2.6. Расчет автоматической подстройки частоты.

2.7. Расчет гетеродина.

2.8. Расчет сопряжения настроек гетеродина и преселектора.

2.9. Расчет усилителя низкой частоты.

2.10. Составление принципиальной электрической схемы приемника.

# Введение

Радиоприемное устройство – одно из важнейших и необходимых элементов любой радиотехнической системы передачи сообщений. Оно обеспечивает: улавливание энергии электромагнитного поля, несущего полезную информацию; усиление мощности сигнала и преобразование его в сообщение, поступающее к получателю. В месте приема существуют посторонние электромагнитные поля, создаваемые источниками радиопомех естественного и искусственного происхождения. Эти электромагнитные поля искажают полезный сигнал и вызывают ошибки в приеме сообщений.

В связи с насыщением окружающего пространства радиотехническими средствами неизбежно увеличивается уровень радиопомех искусственного происхождения, возможно также появление умышленных радиопомех. В этих условиях обеспечение высокой достоверности приема сообщений становится более сложным. Необходимая достоверность приема сообщений может быть реализована только на основе комплексного подхода к построению помехоустойчивых систем передачи сообщений. А также учитывая, что реальные условия приема сигналов изменяются во времени, структура приемника и режимы его элементов должны оптимизироваться с целью обеспечить минимальную величину ошибки в приеме сообщений. Поэтому в приемнике предусматриваются автоматические регулировки усиления, избирательности, формы характеристик, обеспечивающие адаптацию приемника к изменяющимся условиям приема сигналов.

Таким образом, современное профессиональное радиоприемное устройство представляет собой адаптивный комплекс элементов, обеспечивающий оптимальную обработку смеси полезного сигнала и радиопомех. Этот комплекс обеспечивает три операции: 1) улавливание электромагнитных колебаний полезного радиосигнала из окружающего пространства и передачу их приемнику; 2) оптимальную обработку смеси сигнала и радиопомех с целью выделения первичного электрического сигнала, соответствующего сообщению (выделение спектра полезного сигнала, усиление, детектирование, декодирование); 3) преобразование первичного электрического сигнала в сообщение.

В соответствии с указанным структурная схема любого радиоприемного устройства содержит приемную антенну (А), приемник (Пр) и выходной прибор (ВП), рис.1.

А

Пр

Рисунок 1.

Первая из указанных операций выполняется антенной, вторая – приемником и третья – выходным прибором.

На рис.2 приведена структура деления приемных устройств.

По основному назначению – радиовещательные и профессиональные.

Группа радиовещательных приемных устройств отличается относительно простыми техническими решениями задач приема сообщений, ибо массовый выпуск радиовещательных приемников с особой остротой диктует экономическую целесообразность подобного подхода к разработкам.

Группа профессиональных приемных устройств отличается более сложными техническими решениями, так как эти устройства работают преимущественно с одним радиопередатчиком и затраты на приемное и передающее оборудование могут быть равноценными.

Каждая из групп, в свою очередь, делится на подгруппы, каждая из указанных подгрупп может быть разделена на подгруппы и т.д. (рис.2)

Радиоприемные устройства

Радиовещательные

Профессиональные

Звуковые

Теле-визионные

Связные

Радио- навигационные

Измерительные

Теле- метрические

Радио- локационные

Теле-визионные

Теле- управления

Моно-фонические

Стерео-фонические

Областной

связи

Квадра-фонические

Низовой

связи

Магистральной связи

Космической

связи

Диспетчерские

Измерительные

Информа-ционные

Ближней локации

Дальней

локации

Ближней навигации

Дальней

навигации



Рисунок 2.

По роду работы – радиотелефонные; радиотелеграфные – слухового, пишущего или буквопечатающего приема; фототелеграфные и др.

По виду модуляции, используемой на линии связи, - приемники амплитудно-модулированных, частотно-модулированных, фазомодулированных, импульсно-модулированных, однополосных и комбинированных сигналов.

По диапазону принимаемых волн – ДВ, СВ, КВ, УКВ, СВЧ и т.д.

По способу построения тракта усиления сигналов до детектора существуют приемники прямого усиления и супергетеродинные с однократным, двухкратным либо многократным преобразованием частоты.

По способу питания – с автономным питанием от аккумуляторных или сухих батарей; сетевые, питаемые от сети постоянного или переменного тока; с универсальным питанием.

По месту установки – стационарные, передвижные, самолетные, корабельные, автомобильные и др.

## 1. Проектирование структурной схемы приемника

### 1.1. Выбор структурной схемы приемника

В качестве структурной схемы проектируемого приемника была выбрана схема супергетеродинного приемника с однократным преобразованием частоты. Данный выбор основан на том, что схема прямого усиления не может обеспечить заданные показатели чувствительности и избирательности, схема прямого преобразования сложна в проектировании и главной проблемой является трудность синхронизации колебаний местного гетеродина с принимаемым сигналом с точностью до фазы. А схема супергетеродинного приемника позволяет получить хорошую избирательность, поскольку основная селекция происходит на более низкой частоте, по сравнению с принимаемым сигналом и добиться высокой чувствительности.

Структурная схема супергетеродинного приемника с однократным преобразованием частоты приведена на рис.3.

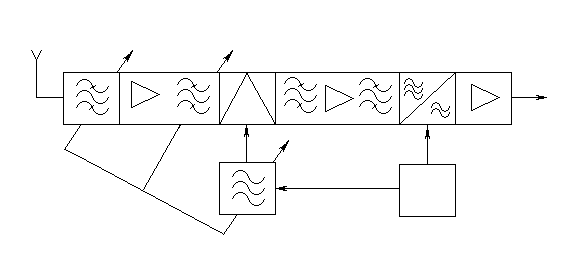


Рисунок 3.

Проектирование структурной схемы приемника традиционно подразделяется на проектирование тракта высокой частоты (ВЧ) и низкой частоты (НЧ). Назначение ВЧ тракта заключается в частотно-избирательном усилении полезного сигнала с целью выделения его из совокупности мешающих колебаний, воздействующих на вход приемника, и доведения его уровня до значения, обеспечивающего заданный режим работы детектора сигнала. Назначение тракта НЧ сводится к усилению без искажений выходного напряжения детектора сигнала для получения на выходе приемника заданных значений выходного напряжения или выходной мощности.

Тракт ВЧ супергетеродинного приемника состоит из трактов радиочастоты и промежуточной частоты. Входящие в них каскады имеют определенное функциональное назначение.

Назначение входной цепи (ВЦ) – предварительная селекция и передача энергии полезного сигнала от антенны ко входу первого каскада с наименьшими потерями и искажениями. Вместе с фильтрами усилителя радиочастоты (УРЧ) ВЦ обеспечивает требуемую избирательность по зеркальному, прямому и другим побочным каналам приема. В диапазоне УКВ обычно применяют одноконтурные ВЦ в режиме оптимального согласования по шумам, в следствии получения максимальной чувствительности.

Назначение УРЧ – уменьшение коэффициента шума приемника, дополнительное подавление зеркального, прямого и других побочных каналов приема, усиление полезного сигнала. В каскадах УРЧ чаще всего применяют одноконтурные фильтры, а коэффициент усиления выбирают небольшим, чтобы избежать избыточного усиления мешающих сигналов, попадающих в полосу пропускания преселектора, которые могут быть причиной появления перекрестных и интермодуляционных искажений в следующем каскаде. Поэтому число каскадов УРЧ выбирают не больше одного – двух, а общий коэффициент усиления не более 5-10.

Назначение усилителя промежуточной частоты (УПЧ) – обеспечение избирательности приемника по соседним каналам приема и основного усиления приемника до детектора. Кроме того, фильтры УПЧ определяют полосу пропускания и форму АЧХ ВЧ тракта приемника.

### 1.2. Расчет полосы пропускания. Определение требований к системе АПЧ

Характеристики радиоприемника должны быть в возможно большей степени согласованы с характеристиками спектра принимаемого сигнала. Полоса пропускания, форма АЧХ и ФЧХ в пределах полосы и прилегающих областях должны удовлетворять требованиям сохранения параметров сигнала в пределах допустимых искажений.

Для радиовещательных приемников обычно считается допустимой подстройка при приеме, при этом полоса пропускания ВЧ тракта выбирается равной реальной ширине спектра принимаемого сигнала. Реальная ширина спектра сигнала Пс зависит как от вида модуляции, так и от вида передаваемого сигнала и определяется по формуле 1.2.1. [1] для частотно модулированных сигналов:

Пс = 2 ∙FВ∙(1+ mчм + √mчм) = 2∙9000∙(1+4,4+√4,4) = 136∙103 Гц

(1.2.1)

где FВ – максимальная частота в спектре модулирующего сигнала,

mчм – максимальное значение индекса частотной модуляции, определяемое по формуле 1.2.2.

mчм = ∆fm / FВ = 40∙103 / 9∙103 = 4,4

(1.2.2)

где ∆fm – девиация частоты.

Полосу пропускания ВЧ тракта обычно стремятся уменьшить до минимально возможной, поскольку с уменьшением полосы повышается чувствительность и избирательность приемника, но при этом соответственно повышаются требования к стабильности частоты гетеродинов. Для разрешения этого противоречия в относительно несложных приемниках используют систему АПЧ. В общем случае отклонение промежуточной частоты приемника за счет нестабильности частот определяется по 1.2.3:

(1.2.3)



где, δс и δг – относительные нестабильности несущей частоты принимаемого сигнала и частоты гетеродина приемника, для радиовещания δс= δг= 10-6,

δн=10-3 - погрешность настройки приемника по шкале,

δпр= 3∙10-3 - относительная погрешность и нестабильность промежуточной частоты приемника,

fc= 78∙106 Гц - максимальная частота диапазона принимаемых сигналов,

fг= 88.7∙106 Гц - максимальная частота гетеродина,

fпр= 10,7∙106 Гц - значение промежуточной частоты приемника.

Для исключения ухудшения качества приема полосу пропускания приемника выбирают шире реальной ширины спектра сигналов на ∆fзап = 2∆fпр = 188,6∙103 Гц, то его можно существенно уменьшить, используя систему автоматической подстройки частоты гетеродина; требуемая полоса приемника при этом соответственно уменьшится, 1.2.4.

П = Пс + 2∆fпр / Капч = 136∙103 + 188,6∙103 / 5 =173∙103 Гц

(1.2.4)

где Капч=5 – коэффициент АПЧ.

### 1.3. Выбор промежуточной частоты

Сложность принципиальной схемы и конструкции супергетеродинного приемника в значительной мере зависят от правильного выбора промежуточной частоты (ПЧ). ПЧ выбирают вне диапазона принимаемых частот, по возможности удаляют от границ поддиапазонов и от частот, на которых работают мощные радиостанции. При более высокой ПЧ легче обеспечить необходимую избирательность по зеркальному каналу. При более низкой ПЧ легче получить узкую полосу пропускания приемника и высокую избирательность по соседнему каналу при конструктивно осуществимых затуханиях контуров.

При определении значения промежуточной частоты будем руководствоваться значением избирательности по зеркальному каналу и выбранным типом транзистора. В качестве транзистора был выбран биполярный. Поэтому промежуточная частота рассчитывается по 1.3.1. для преселектора из двух контуров.

fпр = 0,25∙ dэ∙ fmax ∙2√σз ∙ (1 + (qр) 2) = 0,25∙0,025∙78∙106 ∙ 2√56∙(1+(1) 2) = 9,8∙106 Гц

(1.3.1)

где dэ = 1/Qэ =0,025, где Qэ =Qк/q = 100/2.5. = 40 – реально достижимая эквивалентная добротность контура ВЦ,

Qк = 100 – конструктивная добротность,

q = 2,5 – коэффициент шунтирования контуров транзисторами,

fmax = 78∙106 Гц – максимальная частота диапазона,

qр = 1 – параметр рассогласования антеннофидерной системы и входа ВЦ,

σз = 56 – избирательность по зеркальному каналу, заданная в ТЗ.

Полученное значение близко к 10,7∙106 Гц из ряда стандартизированных значений промежуточной частоты, поэтому в качестве промежуточной частоты можно выбрать значение fпр=10,7∙106 Гц.

### 1.4. Выбор схемы преселектора по требованиям к чувствительности

При выборе структуры и усиления преселектора супергетеродинного приемника исходят из требований к реальной чувствительности, многосигнальной избирательности и условий работы приемника – характера и уровня помех в диапазоне принимаемых частот. В диапазонах ДВ и СВ и нижней части КВ чувствительность приемников ограничена внешними помехами естественного и промышленного происхождения. На более высоких частотах уровень внешних помех уменьшается и становится соизмеримым с уровнем собственных шумов приемника. В диапазоне УКВ коэффициент шума Fш. доп определяется по формуле 1.4.1.

(1.4.1)



где Е = 16∙10-6 В – реальная чувствительность, заданная в ТЗ,

k =1,38∙10-23 Дж/град – постоянная Больцмана,

Т1=290 К – стандартная температура приемника,

Пс = 173∙103 Гц – полоса приемника,

r = 75 Ом – сопротивление антенны,

hvx = 6 – отношение сигнал/шум на входе приемника, рассчитываемое по формуле 1.4.2

(1.4.2)



где hvix = 20 - отношение сигнал/шум на выходе приемника,

FВ = 9000 Гц – верхняя частота спектра модулирующего сигнала,

Пс = 173∙103 Гц – полоса приемника.

В переводе в децибелы Fш. доп=29 дБ, а так как коэффициент шума выбранного транзистора составляет Fш. тр =7 дБ, т.е.2 Fш. тр< Fш. доп <4 Fш. тр, то можно добавить однокаскадный УРЧ.

### 1.5. Выбор схемы преселектора по требованиям к избирательности

Избирательные системы преселектора супергетеродинного приемника обеспечивают ослабление мешающих сигналов по зеркальному, прямому и другим побочным каналам приема. Исходными данными для определения вида избирательных систем преселектора являются значения избирательности по прямому и зеркальному каналу, заданные в ТЗ, а также данные из пункта 1.3. и 1.4, а именно, что преселектор построен из двух контуров, один в ВЦ, другой - нагрузка УРЧ. Поэтому остается проверить справедливость выбранной структуры преселектора на соответствие избирательности по прямому и зеркальному заданным в ТЗ, формулы 1.5.1. и 1.5.2.

(1.5.1)



где Se1 – избирательность по прямому каналу,

Qр = 50 – избирательность контура при настройке на частоту, с учетом шунтирования контура,

fnp= 10,7∙106 Гц - значение промежуточной частоты приемника,

fmin= 73∙106 Гц - минимальная частота диапазона принимаемых сигналов.

(1.5.2)



где Se2 – избирательность по зеркальному каналу,

Qр = 50 – избирательность контура при настройке на частоту, с учетом шунтирования контура,

fnp= 10,7∙106 Гц - значение промежуточной частоты приемника,

fmах= 78∙106 Гц - максимальная частота диапазона принимаемых сигналов.

Полученные значения превышают значения заданные в ТЗ, заданная избирательность по прямому каналу 35 дБ, по зеркальному 35 дБ, поэтому выбор данной структуры построения преселектора вполне оправдан.

### 1.6. Выбор избирательных систем тракта промежуточной частоты

Основными назначениями УПЧ являются фильтрация полезного сигнала при заданных избирательных свойствах системы или форме АЧХ и обеспечение необходимого усиления для создания условий нормальной работы последующих устройств (демодулятора). Эти основные задачи в определенном смысле являются взаимонезависимыми: избирательные свойства обеспечиваются путем выбора соответствующего типа и числа избирательных систем, а усиление – числом усилительных элементов или интегральных микросхем.

В качестве исходных данных при выборе вида избирательной системы УПЧ является значение коэффициента прямоугольности АЧХ КП 0,001 = 12, заданного в ТЗ. Используя рекомендации изложенные в [1, стр 49], в качестве избирательной системы выбраны два фильтра с двухконтурными каскадами настроенными на одну частоту, с критической связью между контурами, данная избирательная система обеспечивает коэффициент прямоугольности АЧХ КП 0,001 = 7.

### 1.7. Выбор транзисторов и расчет их параметров

При выборе типа транзисторов учитывают их усилительные, частотные, шумовые и нелинейные свойства, диапазон рабочих температур. Тип транзистора и режим его работы в каждом случае выбирают таким образом, чтобы получить необходимое усиление при возможно меньшей стоимости устройства и потребляемой мощности от источников питания. Учитывая все выше изложенное в качестве транзистора был выбран биполярный транзистор ГТ313А характеризуемый следующими параметрами:

Режим измерения h-параметров: напряжение коллектора Uk=5 В,

ток коллектора Ik=5 mA.

Входное сопротивление h11б=30 Ом.

Коэффициент передачи тока h21э=100.

Коэффициент обратной связи h12б = 2,5∙10-3.

Выходная проводимость h22б=5 мкСм.

Граничная частота коэффициента передачи fгр=300 МГц.

Емкость коллекторного перехода Ск=2,5 пФ.

Постоянная времени цепи обратной связи τк=75 пс.

Коэффициент шума Кш=7 дБ.

Максимальная температура окружающей среды Тmax = +55 С.

Минимальная температура окружающей среды Tmin = - 40 С.

Произведем расчет основных параметров данного транзистора на частоте fm= 78∙106 Гц:

Входное сопротивление транзистора по схеме с общим эмиттером:

(1.7.1)



где

(1.7.2)



Входная емкость транзистора по схеме с общим эмиттером:

(1.7.3)



(1.7.4)



(1.7.5)



(1.7.6)



Коэффициент устойчивого усиления для схемы с общим эмиттером:

(1.7.7)



Коэффициент устойчивого усиления для каскодной схемы ОЭ-ОБ:

(1.7.8)



Расчет параметров транзистора для частоты fпр= 10,7∙106 Гц производился по тем же формулам что и для частоты fm= 78∙106 Гц, поэтому далее приводятся только полученные значения:

Входное сопротивление R11 = 2.655∙103 Ом.

Входная емкость C11 = 17,48∙10-12 Ф.

Выходная проводимость g22 = 5,987∙10-6 См.

Выходная емкость C22 = 52∙10-12 Ф.



Коэффициент устойчивого усиления для схемы с общим эмиттером Кусt = 6.337.

Коэффициент устойчивого усиления для каскодной схемы ОЭ-ОБ Коусt= 123,724.

1.8. Выбор и распределение усиления приемника.

Общее усиление приемника выбирают так, чтобы обеспечить уверенный неискаженный прием передаваемых сообщений. Общее усиление обеспечивают высокочастотный (до детектора) и низко частотный (после детектора) тракты приема. Поскольку проще получить большое усиление на НЧ, усиление ВЧ – тракта выбирают по возможности меньшим, как правило – минимально необходимым для нормальной работы детектора приемника. Общее усиление ВЧ тракта выбирают так, чтобы обеспечить неискаженное детектирование принимаемого сигнала, если его уровень на входе приемника соответствует чувствительности. При приеме на наружную антенну в диапазоне УКВ коэффициент усиления ВЧ тракта, формула 1.8.1.

КВЧ. min = Uвх. дет / Eа. р. ∙√2 =0,3 / (1,414∙16∙10-6) = 13250

(1.8.1)

где Uвх. дет =0,3 В – номинальная амплитуда сигнала на входе детектора,

Eа. р = 16∙10-6 В – реальная чувствительность приемника.

Усиление ВЧ тракта выбирают с запасом Кзап =2,5, формула 1.8.2.

КВЧ = КВЧ. min ∙ Кзап = 13250∙2,5=33130

(1.8.2)

Общее усиление ВЧ тракта супергетеродинного приемника с однократным преобразованием частоты равно произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов, формула 1.8.3.

(1.8.3)

КВЧ = КВЦ ∙ КУРЧ∙ КПЧ∙ КУПЧ = 33130

Учитывая, что КВЦ =0,5, КУРЧ =5,8, КПЧ = 0,6, можно посчитать КУПЧ, формула 1.8.4.

КУПЧ = КВЧ / КВЦ ∙ КУРЧ∙ КПЧ =33130/0,5∙5,8∙0,6=19040

(1.8.4)

Учитывая, что устойчивый коэффициент усиления каскодной схемы ОЭ-ОБ составляет 124, то в тракте УПЧ достаточно применить 3 таких каскада.

### 1.9. Эскизный расчет УНЧ

Низкочастотный тракт приемника будет выполнен на микросхеме К174УН7, ее применение обусловлено уменьшением числа дискретных элементов, габаритов и массы приемника, повышает его надежность. Микросхема имеет следующие параметры:

Диапазон частот 40 – 20000 Гц.

Питание 6-15 В.

При нагрузке 4 Ом выходная мощность 4,5 Вт (питание 15 В).

Входное сопротивление микросхемы 50 кОм.

Ток потребления при отсутствии входного сигнала 20 мА.

При напряжении питания 12 В и нагрузке в 4 Ом, мощность на выходе составляет, тогда ток в режиме присутствия сигнала на входе равен.

### 1.10. Предварительный расчет источников питания

Основной задачей предварительного расчета источников питания является определение значений питающих напряжений, ориентировочной мощности источников питания.

Значение напряжения, необходимого для питания всех каскадов составляет Е = 12 В, при токе коллектора Ik = 5 мА. Поэтому ориентировочная мощность, потребляемая от источников питания, без учета НЧ тракта, может быть рассчитана по формуле 1.9.1.

(1.10.1)



С учетом микросхемы получим значение мощности равное

### 1.11. Результаты расчета структурной схемы

На основе предварительного расчета приемника была составлена его структурная схема, рис.4. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Основные показатели | Тип каскада | | | | | |
| Преселектор | | ПЧ | УПЧ | | |
| ВЦ | УРЧ | 1 | 2 | 3 |
| Коэффициент усиления | 0,5 | 5,8 | 0,6 | 124 | 124 | 124 |
| Полоса пропускания, Гц | 1,56∙106 | 1,56∙106 | 305∙103 | 173∙103 | - | - |
| избирательность по  зеркальному каналу, дБ | 56,6 | | - | - | - | - |
| избирательность по  прямому каналу, дБ | 80 | | - | - | - | - |
| избирательность по  соседнему каналу, дБ | - | | - | - | - | - |

## 2. Электрический расчет линейного тракта приемника

## 

### 2.1. Расчет входной цепи

### 2.2. Расчет усилителя радиочастоты

Расчет элементов, обеспечивающих режим работы УРЧ.

Исходные данные для расчета:

- Напряжение питания Еп = 12 В.

- Напряжение коллектор-эмиттер Uke=5 B.

- Ток коллектора Ik=5∙10-3 А.

- Ток коллектор-база обратный Ikbo=2∙10-6 А.

- Диапазон температур 333-293 К.

Определяем изменение обратного тока коллектора от изменения температуры



Находим тепловое смещение напряжения базы



Рассчитываем необходимую нестабильность коллекторного тока



Вычисляем сопротивления резисторов



На основе значений стандартного ряда сопротивлений получаем следующие значения сопротивлений:

Подсчитываем емкости конденсаторов



На основе значений стандартного ряда емкостей получаем следующие значения конденсаторов:

### 2.3. Расчет усилителя промежуточной частоты

УПЧ рассчитывался по методике изложенной в [2].

Исходными данными для расчета УПЧ являются данные полученные из предварительного расчета приемника, а именно:

- номинальное значение промежуточной частоты fпр= 10,7∙106 Гц.

- коэффициент устойчивого усиления каскодной схемы ОЭ-ОБ Кokyct = 124.

- полоса пропускания частот всего усилителя П = 173∙103 Гц

- коэффициент прямоугольности КП 0,001 = 7.

- параметры нагрузки УПЧ g22k =6∙10-6 Cм, C22k= 2.5∙10-12 Ф.

УПЧ построен на биполярном транзисторе по каскодной схеме ОЭ-ОБ, с нагрузкой в виде двуконтурного полосового фильтра настроенного на промежуточную частоту с β=1, с эквивалентным затуханием контура de=0,0028. Контура имеют одинаковые значения емкостей и затухания.

Зададимся собственным затуханием контура d1=0.012.

Вначале рассматривается вариант полного включения контура в нагрузке каскада (m1=1).

Сначала определяют критические значения эквивалентного затухания контуров по 2.3.1. и 2.3.2.



где C11 = 17,48∙10-12 Ф, g11 = 3,753∙10-4 См

Поскольку de лежит в диапазоне между d11 и d22, то эквивалентные емкости контуров полагают равными минимально допустимым Сэк=15,4∙С22 = 77∙10-12 Ф.

Включают шунтирующий резистор с проводимостью



Коэффициент включения контура к базе транзистора следующего каскада определяется как



Коэффициент усиления определяется, как



Полученное значение меньше коэффициента устойчивого усиления Кokyct = 124, поэтому можно перейти к расчету индуктивности контура



Емкость конденсаторов настройки контуров определяется, как



где Cm = 3∙10-12 Ф – емкость монтажа.

Расчет элементов, обеспечивающих режим работы УПЧ.

Исходные данные для расчета:

- Напряжение питания Еп = 12 В.

- Напряжение коллектор-эмиттер Uke=5 B.

- Ток коллектора Ik=5∙10-3 А.

- Ток коллектор-база обратный Ikbo=2∙10-6 А.

- Диапазон температур 333-293 К.

Определяем изменение обратного тока коллектора от изменения температуры



Находим тепловое смещение напряжения базы



Рассчитываем необходимую нестабильность коллекторного тока



Вычисляем сопротивления резисторов



На основе значений стандартного ряда сопротивлений получаем следующие значения сопротивлений:

Подсчитываем емкости конденсаторов



На основе значений стандартного ряда емкостей получаем следующие значения конденсаторов:

### 2.4. Расчет преобразователя частоты

Преобразователь частоты построен на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером и внешним гетеродином. Нагрузкой транзисторного каскада является двуконтурный полосовой фильтр настроенный на промежуточную частоту с β=1, с эквивалентным затуханием контура de=0,0028. Параметры фильтра были рассчитаны в предыдущем пункте. Далее приводится только расчет режима работы ПЧ.

Исходные данные для расчета:

- Напряжение питания Еп = 12 В.

- Напряжение коллектор-эмиттер Uke= B.

- Ток коллектора Ik=1∙10-3 А.

- Ток коллектор-база обратный Ikbo=2∙10-6 А.

- Диапазон температур 333-293 К.

Определяем изменение обратного тока коллектора от изменения температуры

Находим тепловое смещение напряжения базы

Рассчитываем необходимую нестабильность коллекторного тока

Вычисляем сопротивления резисторов

На основе значений стандартного ряда сопротивлений получаем следующие значения сопротивлений:

Подсчитываем емкости конденсаторов

На основе значений стандартного ряда емкостей получаем следующие значения конденсаторов:

### 2.5. Расчет частотного детектора

В качестве частотного детектора был выбран дробный детектор не требующий предварительного ограничителя амплитуды и часто используемый в радиовещательных приемниках из-за простоты построения.

Исходными данными для расчета детектора являются:

- промежуточная частота fпр= 10,7∙106 Гц.

- максимальная девиация частоты ∆Fm= 40∙103 Гц.

- высшая частота модуляции FВ = 9000 Гц.

- конструктивно выполнимая добротность контуров do=0.01.

- допустимый коэффициент нелинейных искажений Kг=0.2%.

- входное сопротивление УНЧ R11 = 50∙103 Ом.

- выходное сопротивление последнего каскада УПЧ R22 = 167∙103 Ом.

- обратное сопротивление диода Д9Л Robr = 106 Ом.

- крутизна диода Д9Л S = 30∙10-3 См.

Расчет детектора проводился по методике изложенной в [3].

По заданному значению коэффициента гармоник Kг находим из таблицы [3] максимальное отношение γ = 0,07 – отношение рабочего коэффициента передачи преобразователя модуляции к максимально возможному коэффициенту преобразователя модуляции при параметре связи между контурами η→∞., а так же η=2 и В=0,35 – коэффициент использования полосы пропускания частотного детектора.

Для выбранного значения В определяется полоса пропускания частотного детектора



а по известному значению η рассчитывается требуемая эквивалентная добротность контуров Qe



Задаемся емкостью контуров С1=С2=200 пФ и определяем индуктивность контуров



Коэффициент связи между контурами Ксv



Определяем входное сопротивление детектора, обеспечивающее требуемое эквивалентное затухание второго контура при полном подключении к нему детектора



После этого определяется нагрузка детектора



Коэффициент подключения транзистора к первому контуру детектора определяется, как



Емкости, шунтирующие нагрузки детекторов



где mmax = 0.5

Коэффициент передачи АМ-детектора определяется по углу отсечки тока диодов



Крутизна детектора будет



Внутреннее сопротивление



Коэффициент передачи детектора



Значения симметрирующих сопротивлений плеч АМ-детекторов имеют порядок R’1=R’2 = 1 кОм.

Емкость С3 определяется как



Индуктивность катушки связи Lсв=0,5∙ L1 = 0.5∙1.1∙10-6 =0.55∙10-6 Гн.

Значение разделительной емкости



Индуктивность дросселя Lдр=10 ∙L1=10∙1.1∙10-6=11∙10-6 Гн.

Коэффициент усиления последнего каскада УПЧ определяется, как



Полученное значение меньше коэффициента устойчивого усиления Кokyct = 124, поэтому расчеты были выполнены верно.

2.6. Расчет автоматической подстройки частоты.

2.7. Расчет гетеродина.

2.8. Расчет сопряжения настроек гетеродина и преселектора.

2.9. Расчет усилителя низкой частоты.

2.10. Составление принципиальной электрической схемы приемника.