Министерство общего и профессионального образования РФ

СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Фак. Инженерно - физический

Каф. Радиоэлектроники

Группа 242

***ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА***

## Пояснительная записка к курсовому проекту

по дисциплине “Радиопередающие устройства”

### **Руководитель проекта**

доцент

Демко А. И.

**Исполнитель**

студент

Гейжа С. В.

1998 г.

Министерство общего и профессионального образования

Российской Федерации

СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра радиоэлектроники

Задание по курсовому проектированию

“Радиопередающие устройства”

Студенту Гейже С. В.

Группа 242 Инженерно – физического факультета

1. Тема проекта: Передатчик с ЧМ
2. Срок сдачи студентом законченного проекта 20 мая
3. Исходные данные к проекту:
   1. Мощность передатчика Pвых= 25 Вт
   2. Рабочая волна передатчика λ = 12 м
   3. Вид передачи ЧМ
   4. Система модуляции косвенная
   5. Полоса частот модуляции fmin = 100 Гц fmax = 10 кГц
   6. Система стабилизации частоты Δf/f = 7⋅10-6
   7. Способ связи с антенной определить, Rн = 75 Ом
4. Содержание пояснительной записки:
   1. Выбор и обоснование структурной схемы передатчика
   2. Построение и расчет схем ступеней высокой частоты задающий генератор и выходной каскад
   3. Составление спецификации к схеме рассчитанных блоков
5. Перечень графического материала
   1. Структурная схема передатчика
   2. Принципиальная схема рассчитанных блоков
6. Дата выдачи задания 25 февраля 1998 г.

РУКОВОДИТЕЛЬ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подпись

Задание принял к исполнению (дата)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись студента)

# **АННОТАЦИЯ**

В данном курсовом проекте производится проектирование и расчет некоторых основных каскадов радиопередающего устройства коротковолнового диапазона с частотной модуляцией, а также предъявляются требования к не рассчитанным каскадам.

Цель данной работы – спроектировать радиопередающее устройство с характеристиками заданными в техническом задании, произвести электрический расчет указанных в техническом задании каскадов радиопередатчика.

Результатом проекта является структурная схема передатчика, блоки которой в соответствии с ТЗ либо построены в виде принципиальной электрической схемы содержащей номинальные значения всех элементов, либо описаны основные их параметры которые обеспечивают правильную работу схемы в целом.

# 

# **СОДЕРЖАНИЕ**

Техническое задание 2

## Аннотация 3

Содержание 4

Введение 5

1. Эскизный расчет 6
   1. Выбор и обоснование структурной схемы 6
   2. Задающий кварцевый генератор 6
   3. Модулирующий каскад 6
   4. Умножитель частоты 8
   5. Усилитель мощности 8
   6. Усилители и согласующие цепи 9
   7. Связь с антенной 9
2. Расчет кварцевого автогенератора 10
   1. Схема автогенератора 10
   2. Расчет по постоянному току 10
   3. Расчет по переменному току 11
   4. Энергетический расчет автогенератора 12
3. Расчет усилителя мощности 14
   1. Схема усилителя мощности 14
   2. Расчет режима работы и энергетический расчет 14
   3. Расчет цепи питания усилителя мощности 17
   4. Расчет цепи смещения усилителя мощности 18
4. Расчет выходной нагрузочной системы усилителя мощности 19
   1. Электрический расчет нагрузочной системы 19
   2. Конструктивный расчет элементов нагрузочной системы 21

Заключение 23

Список литературы 24

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Параметры транзистора КТ315Б 25

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Параметры транзистора КТ927Б 26

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Схема электрическая принципиальная задающего генератора 27

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности 28

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Спецификация к принципиальной схеме задающего генератора 29

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Спецификация к принципиальной схеме усилителя мощности 30

# **ВВЕДЕНИЕ**

Радиопередающим называется устройство, предназначенное для выполнения двух основных функций – генерации электромагнитных колебаний и их модуляции в соответствии с передаваемым сообщением. Радиопередающие устройства находят широкое применение в различных областях, телевидение, все виды радиосвязи, радиовещание, телеметрии.

Проектируемый передатчик может быть использован в радиовещательном диапазоне, персональной связи.

# **1. ЭСКИЗНЫЙ РАСЧЕТ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПЕРЕДАТЧИКА**

## 

## Выбор и обоснование структурной схемы передатчика.

Исходя из технического задания, в котором необходимо спроектировать передатчик с косвенным методом частотной модуляции, с относительной нестабильностью частоты 10-7 и полосой модулирующего сигнала то 100 Гц до 10 кГц, структурная схема будет выглядеть следующим образом (рис.1).

1 2 3 f nf 5 6

φ

## КГ 4 УМ

##### 

##### UΩ ∫ 7

##### Модулирующий каскад

##### Рис.1 Структурная схема передатчика

## Обозначение блоков на структурной схеме:

## 1 – задающий кварцевый генератор;

2, 5 – усилитель;

3 – фазовый модулятор;

4 – умножитель частоты;

6 – усилитель мощности;

7 – интегрирующая цепь.

## Задающий кварцевый генератор

В качестве задающего кварцевого генератора будет использоваться кварцевый генератор, построенный по схеме емкостной трёхточки. Кварцевый резонатор включен между коллектором и базой транзистора.

Такая схема генератора имеет ряд преимуществ:

1. обеспечивается высокая стабильность частоты;
2. генератор имеет меньшую склонность к паразитной генерации на частотах выше рабочей;
3. схема генератора может быть построена без катушек индуктивности;
4. частоту генератора можно менять в достаточно широком диапазоне путем смены только кварцевого резонатора.
   1. Модулирующий каскад

Так как необходимо построить передатчик с косвенным методом частотной модуляции, то модулирующий каскад будет состоять из: фазового модулятора, умножителя частоты, интегрирующей цепочки.

Частотная модуляция обеспечивает постоянство девиации частоты ∆ωд в полосе модулируемых частот, при этом индекс частотной модуляции М = ∆ωд / Ω.

При фазовая модуляция обеспечивается постоянный индекс фазовой модуляции Ф (максимальное отклонение фазы от немодулированного значения) в полосе модулирующих частот, при этом девиация частоты изменяется следующим образом ∆ωд = Ω ∙ Ф. (1)

Так как девиация частоты на выходе фазового модулятора прямо пропорциональна модулирующей частоте Ω, а при частотной модуляции необходимо постоянства девиации частоты. Следовательно, необходимо включить в схему устройство отклик, которого был бы обратно пропорционален частоте. Таким устройством может быть интегрирующая цепочка.

Так как девиация фазы на выходе фазового модулятора очень мала, то для обеспечения требуемой девиации частоты необходим умножитель частоты.

Рассчитаем необходимый индекс фазовой модуляции исходя из технического задания, в котором полоса передаваемых частот от 100 Гц до 10 кГц и девиация частоты ∆fд 50 кГц.

Из формулы (1) следует Ф = ∆ωд / Ω = ∆fд / Fн = 50000 / 100 = 500 рад.

Реальные фазовые модуляторы имеют индекс фазовой модуляции 20 … 60˚.

Рассчитаем девиацию частоты реального фазового модулятора с индексом фазовой модуляции Ф = 45˚ = 0.785 рад.

∆fд р =Fн ∙ Ф = 100 ∙ 0.785 = 78.5 Гц .

Исходя, из этого рассчитаем необходимый коэффициент умножения частоты, чтобы обеспечить требуемую девиацию частоты

N = ∆fд  / ∆fд р = 50000 / 78.5 = 637.

Реализовать умножитель частоты с коэффициентом умножения N = 637, возможно, но он будет вносить сильные искажения. Следовательно, необходим какой-то способ уменьшить коэффициент умножения.

Рассмотрим модуляционную характеристику фазового модулятора.

∆φ

2π

UΩ

UΩ 2π

##### Рис.2 Модуляционная характеристика ФМ

#### Предположим что максимальное изменение фазы ∆φmax = 2π ему соответствует какая-то амплитуда модулирующего сигнала UΩ2π.Если необходимо изменение фазы больше 2π и известно, что этой фазе соответствует напряжение амплитуда сигнала большая UΩ2π, то можно применить следующий способ модуляции.

Будем рассматривать модулирующую функцию как периодическую с периодом2π, тогда чтобы получить изменение фазы не более 2π на вход фазового модулятора необходимо подавать сигнал вида Uвх фм = UΩ  - UΩ2π ∙ [Uвх фм /UΩ2π]. Получить сигнал вида Uвх фм можно по следующей схеме (рис.3).

φ

## КГ

## 

##### 

##### АЦП ==> ЦАП ВУ

##### UΩ ∫

###### Рис.3.Функциональная схема ФМ

Так как реально используются фазовые модулятора с индексом фазовой модуляции 45˚, то чтобы воспользоваться предложенным методом необходимо, чтобы изменение фазы было 2π. Это можно сделать, поставив умножитель частоты на выходе фазового модулятора с коэффициентом умножения равным восьми.

Таким образом, в модулирующем каскаде будут применены: фазовый модулятор с индексом фазовой модуляции 45˚, умножитель частоты на 8, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, ВУ – вычитающее устройство, выполненное на операционном усилителе.

* 1. Умножитель частоты

Умножители частоты в передатчиках используются для повышения частоты колебаний в целое число раз, а также и для увеличения индекса модуляции при частотной или фазовой модуляции. Транзисторные умножители частоты строятся по схемам генераторов с внешним возбуждением, но выходной контур настроен на n – гармонику частоты возбуждения, а режим работы активного элемента выбирают таким образом, чтобы получить максимальные полезную мощность и к.п.д. Рекомендуется выбирать кратность умножения n = 2,3, т.к. при более высокой кратности резко снижается полезная мощность и к.п.д. Колебательные контуры должны иметь как можно более высокую рабочею добротность, чтобы снизить в выходном колебании напряжения с частотой возбуждения и других гармоник.

В проектируемом передатчике необходимо будет использовать умножитель частоты с кратностью умножения n = 8. Исходя из выше упомянутых рекомендаций умножитель частоты необходимо реализовать, как три последовательно включенных умножителя частоты при кратность умножения каждого из них n = 2.

* 1. Усилитель мощности

Выходную мощность радиопередатчика формирует каскад усилителя мощности. В диапазоне высоких частот обычно используют транзисторный усилитель мощности по схеме с общим эмиттером, т.к. это обеспечивает наилучшую устойчивость работы. В состав усилителя мощности входят активный элемент, согласующие цепи, цепи питания и смещения. Чтобы обеспечить максимальный к.п.д и максимальную мощность необходима произвести расчет усилитель мощности в оптимальном режиме. Для реализации такого режима необходимо правильно спроектировать внешние цепи усилителя – питания, смещения и согласования.

* 1. Усилители и согласующие цепи

Усилители необходимы, чтобы обеспечить требуемую мощность возбуждения каскадов, следующих за ними. Их необходимость определяется схемами реализации всех каскадов.

Согласующие цепи делятся на входные, выходные и межкаскадные.

Входная согласующая цепь преобразует входное сопротивление активного элемента в сопротивление возбуждения (сопротивление необходимое для нормальной работы возбудителя) при этом от возбудителя передается максимальная мощность. Так же входная согласующая цепь играет роль фильтра, обеспечивающего гармоническую форму напряжения или тока на входе активного элемента.

Выходная согласующая цепь преобразует сопротивление нагрузки усилителя в критическое сопротивление на выходных электродах активного элемента, которое требуется для получения оптимального режима работы усилителя. Также выходная цепь применяется для фильтрации выходного напряжения активного элемента от высших гармонических составляющих.

Межкаскадные согласующие цепи применяются в многокаскадных радиопередатчиках для преобразования входного сопротивления АЭ последующего каскада в оптимальное сопротивление на выходных электродах АЭ предыдущего каскада.

* 1. Связь с антенной

В диапазоне коротких волн используется очень большое количество разнообразных антенн направленных и ненаправленных. Для обеспечения работы антенны в диапазоне частот необходимо использоваться антенно – согласующее устройство связь с которым осуществляется фидером. Фидер предназначен для передачи высокочастотной энергии от источника к нагрузке. Исходя из технического задания в качестве фидера может использоваться коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом, например РК-75.

# **2. РАСЧЕТ КВАРЦЕВОГО АВТОГЕНЕРАТОРА**

* 1. Схема автогенератора

Схема автогенератора изображена на рисунке 4, рабочая частота автогенератора 3125 кГц. В качестве активного элемента в схеме автогенератора будет применен биполярный транзистор КТ 315Б, т.к. он обеспечивает требуемую выходную мощность и может работать на рассчитываемой частоте. Параметры транзистора приведены в ПРИЛОЖЕНИИ 1.



*Рис. 4.*

Автогенератор представляет собой емкостную трёхточку, которая образована транзистором VT1, кварцевым резонатором ZQ1, выполняющим роль индуктивности, и конденсаторами С2 и С3. Резисторы R1, R2, R3 обеспечивают внешнее и автоматическое смещение для транзистора. Конденсатор С1 служит для блокировки резистора R3 на рабочей частоте, что исключает отрицательную обратную связь. Дроссель L к включен для того, чтобы не зашунтировать трёхточку через источник питания Eк.

* 1. Расчёт по постоянному току.

Задаём постоянную составляющую коллекторного тока IК0,напряжение между коллектором и эмиттером ЕКЭ и напряжение на эмиттере ЕЭ исходя из рекомендаций, в которых IК0 = (3 …10) mA, ЕКЭ = (3…10) B и ЕЭ = (2…3) B.

IК0 = 5 mA, ЕКЭ = 7 B и ЕЭ = 2 B.

Рассчитываем сопротивление автосмещения в эмиттерной цепи

R3 =ЕЭ / IК0 = 2/ 5 ∙ 10-3 = 400 Ом

Выбираем стандартное значение сопротивления R3 = 430 Ом.

Рассчитываем напряжение источника питания

EK = ЕКЭ + ЕЭ = 7 + 2 = 9 B.

Определяем ток базы

IБ0 = IК0 /β0 =5 ∙ 10–3 / 100 = 50 мкА,

где β0 – коэффициент передачи тока транзистора.

Задаём ток делителя напряжения цепи фиксированного смещения

IДЕЛ = (10…20) ∙ IБ0 = 10 ∙ 50 ∙10-6 = 500 мА.

Определяем сопротивление делителя напряжения

RДЕЛ = R1 + R2 =EK / IДЕЛ = 9 / 500 ∙ 10-6 = 18 кОм.

Определим напряжение смещения на базе транзистора

ЕБ = ЕЭ +0.7 = 2 + 0.7 = 2.7 В.

Найдем значения сопротивлений R1 и R2

R1 = ЕБ / IДЕЛ = 2.7 / 500 ∙ 10-6 = 5.4 кОм,

R2 = RДЕЛ – R2 = 18 – 5.4 = 12.6 кОм.

Выбираем стандартные значения сопротивлений R1 и R2:

R1 = 5.6 кОм, R2= 12 кОм.

* 1. Расчёт по переменному току.

Определяем крутизну транзистора:

S = ,

где  - высокочастотное сопротивление базы,  - сопротивление эмиттерного перехода.

 = τК / СК = 500 ∙ 10-12 / 7 ∙ 10-12 = 71.43 Ом,

где τК – постоянная времени цепи обратной связи, СК – ёмкость коллекторного перехода

 = 26 / IК0 = 26 / 5 = 5.2 Ом.

S = 100 / ( 71.43 + 100 ∙ 5.2) = 169 мА/В.

Зададим коэффициент регенерации GP = (3…7) = 5 и определим управляющее сопротивление

RУ = GP / S = 5 / 169 ∙ 10-3 = 29.6 Ом.

Зададим коэффициент обратной связи автогенератора К’ОС = С3 / С2 = 1 и вычислим реактивное сопротивление емкости С3

X3 = == 27.5 Ом,

где rкв - сопротивление кварцевого резонатора, которое находится по формуле

rкв = 1 / ω ∙ Ck ∙ Qk = 1 / 2 ∙ π ∙ 3.125 ∙ 106 ∙ 1 ∙ 10-15 ∙ 2 ∙ 106 = 25.5 Ом.

Ck - емкость кварцевого резонатора, Qk – додротность кварцевого резонатора.

Найдем емкость конденсаторов С2 и С3

С2 = С3 = 1 / ωкв ∙ X3 = 1 / 2 ∙ π ∙ 3.125 ∙ 106 ∙ 27.5 = 1.85 нФ.

Стандартное значение: С2 = С3 = 2 нФ.

Вычислим ёмкость блокировочного конденсатора

С1 = (10…20)  = 20 / 2 ∙ π ∙ 3.125 ∙ 106 ∙ 5.2 = 196 нФ,

стандартное значение С1 = 220 нФ.

Рассчитаем индуктивность блокировочного дросселя

Lk = (20…30)  = 20 ∙ 27.5 / 2 ∙ π ∙ 3.125 ∙ 106 = 28 мкГн.

Определим необходимость дросселя LБ из условия

R1 ∙ R2 / (R1 + R2 ) ≥ (20…30) ∙ X2,

если оно не выполняется, то дроссель необходим.

Проверка

5.6 ∙ 103 ∙ 12 ∙ 103 ≥ 25 ∙ 27.5

67200 ≥ 687.5

Условие выполняется, следовательно, дроссель не нужен.

* 1. Энергетический расчёт автогенератора.

Определим коэффициент Берга γ1 = 1 / Gp и через него коэффициенты α0 и α1.

γ1 = 1 / Gp = 1 / 5 = 0.2; θ = 60˚;

γ0 = 0.11; α0 = 0.21; α1= 0.4.

Вычисляем амплитуду импульса коллекторного тока

Imk = Ik0 / α0(θ) = 5 ∙ 10-3 / 0.21 = 23.8 mA.

Проверяем условие Imk < Imk доп, 23.8 mA < 100 mA.

Определяем амплитуду первой гармоники коллекторного тока

Ik1 =α1(θ) ∙ Imk = 0.4 ∙ 23.8 ∙ 10-3 = 9.5 mA.

Рассчитываем амплитуду напряжения на базе транзистора

UmБ = Ik1 ∙ Ry = 9.5 ∙ 10-3 ∙ 29.6 = 0.282 B.

Вычисляем модуль коэффициента обратной связи

=  = 0.73.

Находим амплитуду напряжения на коллекторе

Umk = = 0.282 / 0.73 = 0.386 B.

Определяем мощность, потребляемую от источника коллекторной цепью

P0 = Ik0 ∙ EКЭ = 5 ∙ 10-3 ∙ 7 = 35 мВт;

мощность, рассеиваемая кварцевым резонатором

Pкв = 0.5 ∙ ( UmБ / X2 ) 2 ∙ rкв = 0.5 ∙ ( 0.282 / 27.5 ) 2 ∙ 25.5 = 1.34 мВт;

Проверяем условие Pкв < Pкв доп, где Pкв доп - допустимая мощность рассеиваемая на кварцевом резонаторе, 1.34 мВт < 100 мВт.

мощность, рассеиваемая транзистором

Pk = P0 – Pкв = 35 – 1,34 = 33.66 мВт;

Проверяем условие Pк < Pк доп, где Pк доп – допустимая мощность рассеиваемая транзистором, 33.66 мВт < 150 мВт.

Оценим величину допустимого сопротивления нагрузки

R н доп ≥ 5 ∙ U2mk / Pкв = 5 ∙ 0.3862 / 1.34 ∙ 10-3 = 556 Ом.

Из условия, что будет потребляться мощность

Pн = 0.1 ∙ Pкв = 0.1 ∙ 1.34 = 0.134 мВт

найдем к.п.д. автогенератора

η =Pн / P0 = ( 0.134 / 35 ) ∙ 100% = 0.14 %.

# **3. РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ.**

Требования к усилителю мощности:

рабочая частота – 25 МГц;

выходная мощность – не менее 25 Вт.

В качестве активного элемента в усилителе мощности будет использоваться биполярный транзистор КТ927Б т. к. он обеспечивает требуемую выходную мощность и может работать на требуемой частоте. Параметры транзистора приведены в ПРИЛОЖЕНИИ 2.

* 1. Схема усилителя мощности.

Схема усилителя мощности приведена на рисунке 5.



*Рис.5.*

Назначение элементов схемы усилителя мощности:

## R1 и R2 - используются как делитель напряжения для обеспечения фиксированного смещения; обеспечивают автосмещение; корректируют частотную характеристику;

С1 и С5 – разделительные емкости;

L2 – блокировочная индуктивность;

С3 – блокировочная емкость;

L1 и С2 – входная согласующая цепь;

L3 и С3 – выходная согласующая цепь.

* 1. Расчет режима работы и энергетический расчет

Выбираем амплитуду импульсов коллекторного тока ik max из условия:

ik max ≤ (0.8 … 0.9) ∙ ik доп,

где ik доп – допустимая амплитуда импульсов коллекторного тока (справ.);

ik max = 0.8 ∙ 10 = 8 А.

Выбираем напряжение источника питания из условия:

Еп ≤ Uк доп /2,

## где Uк доп – допустимая амплитуда напряжения на коллекторе (справ.);

Еп ≤ 70 / 2 = 35, выбираем Еп = 20 В.

Рассчитываем напряженность граничного режима работы активного элемента ξгр

ξгр = 1- iк max / Sгр∙ Еп = 1- 8 / 5 ∙ 20 = 0.92,

где Sгр – крутизна граничного режима (справ.).

Найдем амплитуду импульсов первой гармоники коллекторного напряжения

Uk1 = ξгр ∙ Еп = 0.92 ∙ 20 = 18.4 В.

Определим амплитуду импульсов первой гармоники коллекторного тока

Ik1 = α1(θ)∙ ik max = 0.5 ∙ 8 = 4 А,

где α1(θ) – коэффициент Берга, θ = 90˚.

Рассчитаем постоянный ток, потребляемый коллекторной цепью транзистора

Ik0 = α0(θ)∙ ik max = 0.318 ∙ 8 = 2.54 А,

где α0(θ) – коэффициент Берга, θ = 90˚.

Найдем мощность первой гармоники

P1 = Ik1 ∙ Uk1 / 2 = 4 ∙ 18.4 / 2 = 36.8 Вт.

Определим мощность, потребляемую от источника питания

P0 = Ik0 ∙ Eп = 2.54 ∙ 20 = 50.8 Вт.

Рассчитаем мощность, рассеиваемую на активном элементе

Pрас = Р0 – Р1 = 50.8 – 36.8 = 14 Вт.

Найдем к.п.д. усилителя

η = Р1 / Р0 = 36.8 / 50.8 = 0.72, т.е 72%.

Определим амплитуду управляющего заряда

Qy1 = ik max / [ωгр ∙ ( 1- cos θ )]= 8 / [2 ∙ π ∙ 100 ∙ 106 ∙ ( 1- cos 90˚ )] = 12.73 ∙ 10-9 Кл,

где ωгр – граничная частота работы транзистора, θ – угол осечки коллекторного тока.

Найдем постоянную составляющую напряжения эмиттерного перехода

Uэп = uотс – γ0 (π –θ) ∙ Qy1 /Cэ = 1 – 0.5 ∙ 12.73 ∙ 10-9 / 2300 ∙ 10-12 = -0.76 В,

где uотс – напряжение отсечки, γ0 - коэффициент Берга, Cэ – емкость эмиттерного перехода (справ.).

Определим минимальное мгновенное напряжение на эмиттерном переходе

uэ min = uотс – (1 – cos (π –θ) ) ∙ Qy1 / Cэ = 1 – 12.73 ∙ 10-9 / 2300 ∙ 10-12 = - 4.5 В.

Рассчитаем выходное сопротивление транзистора

Rk = Uk1 / Ik1 = 18.4 / 4 = 4.6 Ом.

Определим коэффициент, показывающий во сколько раз увеличивается входная емкость транзистора счет паразитной емкости коллекторного перехода

æ = 1 + γ1 (θ) ∙ ωгр∙ Ск ∙Rk = 1 + 0.5 ∙2 ∙ π ∙ 100 ∙ 106 ∙ 150 ∙ 10-12 ∙ 4.6 = 1.217,

где Ск – емкость коллекторного перехода.

Найдем амплитуду первой гармоники тока базы с учетом тока через емкость Ск

Iб = ω ∙ Qy1 ∙ æ = 2 ∙ π ∙ 25 ∙ 106 ∙ 12.73 ∙ 10-9 ∙ 1.217 = 2.43 A.

Рассчитаем сопротивление корректирующего резистора, подключаемого параллельно входу транзистора, служащего для симметрирования импульсов коллекторного тока

RЗ = 1 / ωβ ∙ Cэ = 1 / 2 ∙ π ∙ 5 ∙ 106 ∙ 2300 ∙ 10-12 = 13.8 Ом,

где ωβ – частота, на которой модуль коэффициента усиления тока в динамическом режиме уменьшается в √2 раз по сравнению со статическим режимом. ωβ находится по формуле ωβ = ωгр / B , где В – средний коэффициент усиления тока (15…30).

Определим мощность, рассеивающуюся на корректирующем сопротивлении

= 0.55 Вт.

Найдем входное сопротивление транзистора

Rвх = γ1 (θ) ∙ ωгр∙ Lэ / æ = 0.5 ∙2 ∙ π ∙ 100 ∙ 106 ∙ 1 ∙ 10-9 / 1.217 = 0.26 Ом,

где Lэ – индуктивность эмиттерного вывода транзистора (справ.).

Определим мощность, обусловленную прямым прохождением мощности в нагрузку через Lэ и связанную с Rвх

P’’вх =I2б1 ∙ Rвх / 2 = 2.432 ∙ 0.26 / 2 = 0.76 Вт.

Рассчитаем входную мощность, требуемую для обеспечения заданной выходной мощности

Pвх = P’вх + P’’вх = 0.55 + 0.76 = 1.31 Вт.

Найдем коэффициент передачи по мощности усилителя

Kp = (P1 + P’’вх) / Pвх = ( 36.8 + 0.76 ) / 1.31 = 28.7

Определим входную индуктивность усилителя

Lвх = Lб + Lэ / æ = 1 ∙ 10-9 + 2 ∙ 10-9 / 1.217 = 2.82 нГн,

где Lб – индуктивность базового вывода транзистора (справ.).

Рассчитаем входную емкость усилителя

Свх = æ ∙ Сэ / γ1 (π - θ) = 1.217 ∙ 2300 ∙ 10-9 / 0.5 = 5.6 нФ.

Найдем усредненное за период колебаний сопротивление коррекции Rпар

Rпар = RЗ ∙ γ1 (π - θ) = 13.8 ∙ 0.5 = 6.9 Ом.

3.3 Расчет цепи питания усилителя мощности.

Выбор схемы цепи питания.

Цепь питания содержит источник постоянного напряжения и блокировочные элементы. Благодаря блокировочным элементам исключаются потери высокочастотной мощности в источнике питания, и устраняется нежелательная связь между каскадами через источник питания.

В качестве схемы цепи питания выберем параллельную схему (рис. 6.), когда источник питания, активный элемент и выходная цепь включены параллельно. Последовательная схема цепи питания не будет использоваться, потому что требуется, чтобы выходная согласующая цепь пропускала постоянный ток.



*Рис. 6.*

Емкость Сбл с индуктивностью Lбл и емкостью Ср образуют колебательный контур резонирующий на частоте меньшей рабочей частоты усилителя, что может привести к возбуждению колебаний. Чтобы исключить их применяют антипаразитный резистор Rап и проектируют цепь питания как ФНЧ.

Определим блокировочную индуктивность из условия

ωmin ∙ Lбл >> Rk

Lбл >> Rk / ωmin = 4.6 / 2 ∙ π ∙ 25 ∙ 10-6 = 29.3 ∙ 10-9

Lбл = 10 мкГн.

Рассчитаем сопротивление антипаразитного резистора из условия

Rап << 0.1 ∙ Rk = 0.1 ∙ 4.6 = 0.46

Определим емкость блокировочного и разделительного конденсаторов

Сбл = Ср = Lбл / 2 ∙ Rап = 10 ∙ 10-6 / 2 ∙ 0.46 = 10.9 мкФ.

3.4 Расчет цепи смещения усилителя мощности.

Выбор схемы цепи смещения.

Напряжение смещения биполярного транзистора в оптимальном режиме зависит от входного напряжения, а следовательно от входной мощности.

Обеспечить требуемое напряжение смещения с помощью фиксированного смещения нецелесообразно, поскольку изменение входной мощности приведет к отклонению режима работы транзистора по постоянному току от оптимального.

Для стабилизации режима работы транзистора применяют комбинированное смещение, при этом к базе транзистора необходимо подвести постоянное напряжение отсечки uотс и обеспечить автосмещение Uавт = γ0( π – θ) ∙ Qy1 / Cэ.

Рассчитаем требуемое сопротивление автосмещения и элементов схемы смещения

Rсм = ,

так как θ = 90˚ формула приимет вид

Rсм = Rз = ,

где τβ –постоянная времени на частоте ωβ (частота, на которой модуль коэффициента усиления тока в динамическом режиме уменьшается в √2 раз по сравнению со статическим режимом. ωβ находится по формуле ωβ = ωгр / B , где В – средний коэффициент усиления тока) и находится по формуле τβ = 1 / ωβ = 1 / 2 ∙ π ∙ 5 ∙ 106 = 31.8 нс.

+EG

R1

АЭ

R2

## *Рис. 7*

Rсм = 13.8 Ом.

Применяя схему смещения, приведенную на рисунке7,

необходимо чтобы выполнялись условия:

Eп ∙ R2 / ( R1 + R2 ) = Uотс , R1 ∙ R2 /( R1 + R2 ) = Rсм.

Эти условия выполняются при

R1 = 278.6 Ом ≈ 280 Ом и R2 = 14.6 Ом ≈ 15Ом.

# **4. РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ НАГРУЗОЧНОЙ СИСТЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ.**

Назначение нагрузочной системы – фильтрация высших гармоник и согласование транзистора с нагрузкой. Для обеспечения фильтрации высших гармоник в усилителе мощности нагрузочная система настраивается на частоту первой гармоники сигнала. Настроенная в резонанс нагрузочная система обладает на частоте первой гармоники чисто активным входным сопротивлением. Согласование нагрузки заключается в том, чтобы , подключив нагрузочную систему к транзистору и к нагрузке, обеспечить оптимальное (критическое) сопротивление нагрузки транзистора Rк.при согласовании не должно нарушаться условие резонанса, должен обеспечиваться по возможности большой к.п.д. нагрузочной системы ηк, добротность нагрузочной системы должна оставаться достаточно высокой для сохранения хорошей фильтрации высших гармонических составляющих.

В усилителях мощности на транзисторах широкое применение получил П – образный контур, схема которого изображена на рисунке 8.



*Рис. 8.*

На частоте сигнала f входное сопротивление П – контура должно быть чисто активным и равным требуемому критическому сопротивлению нагрузки транзистора Rк. таким образом П – контур на частоте сигнала f трансформирует активное сопротивление нагрузки Rн в активное входное сопротивление Rк.

* 1. Электрический расчет нагрузочной системы

Зададимся величиной волнового сопротивления контура

ρ = 2 ∙ π ∙ f ∙ L0 = 250 – 500 Ом

ρ = 300 Ом.

Определяем индуктивность контура L0

L0 = ρ / 2 ∙ π ∙ f = 300 / 2 ∙ π ∙ 25 ∙106 = 1.91 мкГн.

На частоте сигнала f П – контур сводится к виду, изображенному на рисунке 9, причём L, L0, C0 находятся в соотношении

2 ∙ π ∙ f ∙ L = 2 ∙ π ∙ f ∙ L0 – 1 / 2 ∙ π ∙ f ∙ C0.



*Рис. 9.*

Величиной L необходимо задаться в соответствии с формулой

L >  =  = 118∙ 10-9 ≈ 120 нГн.

Определяем С0

С0=1 / (4 ∙ π 2∙ f2 ∙ (L0 – L)) =1 / (4 ∙ π 2∙ (25 ∙106)2 ∙(1.91∙10-6 – 120∙10-9))=22.6 пФ.

Определяем емкости С1 и С2

С1 = = ==

= 573 пФ.

С2 = = ==

= 352 пФ.

Рассчитываем внесенное в контур сопротивление

rвн =  = = 4.12 Ом.

Определим добротность нагруженного контура

Qн = ρ / (r0 +rвн ),

где r0 – собственное сопротивление потерь контурной индуктивности L0. Эта величина точно определяется при конструктивном расчете контурной катушки индуктивности, а на данном этапе можно принять r0 = (1…2) Ом = 1 Ом.

Qн = ρ / (r0 +rвн ) = 300 / ( 1 + 4.12) = 58.6.

Найдем коэффициент фильтрации П – контура

ф = Qн ∙( n2 –1 ) ∙ n = 58.6 ∙ ( 22 – 1) ∙2 = 351.6,

где n =2 для однотактной схемы усилителя.

Определим к.п.д. (ориентировочный) нагрузочной системы

ηк = rвн / (rвн + r0) = 4.12 / ( 1 + 4.12) = 0.8.

## 4.2 Конструктивный расчет элементов нагрузочной системы

В процессе конструктивного расчета нагрузочной системы необходимо выбрать номинальные значения стандартных деталей (С0, С1, С2 ), входящих в контур, и определить конструктивные размеры контурной катушки L0.

При выборе номинального значения конденсатора С1 необходимо учитывать, что параллельно ему подключена выходная емкость транзистора усилителя мощности.

Для настройки контура в резонанс и обеспечения оптимальной связи с нагрузкой в состав емкостей С0 и С2 целесообразно включить подстроечные конденсаторы. При включении в цепь подстроечных конденсаторов схема контура примет вид изображенный на рисунке 10.



*Рис. 10.*

Номинальные значения элементов входящих в контур:

С0 = 22 пФ; С2 =360 пФ.

Учитывая, что выходная емкость транзистора Ск = 150 пФ емкость С1 определится так С1 = 573 – 150 = 423 пФ, номинальное значение равно 430 пФ.

Произведем расчет контурной катушки:

Зададим отношение длины намотки катушки ( *l* ) к диаметру намотки ( D )

*v* = *l* / D = (0.5…2) = 1.25.

Определим площадь продольного сечения катушки S = *l* ∙ D по формуле

S = P1 ∙ ηк / Ks = 36.8 ∙ 0.8 / 0.5 = 58.9 см2,

где Ks = (0,1 – 1) – удельная тепловая нагрузка на 1 см2 сечения катушки, [Вт/см2].

Определим длину *l* и диаметр D катушки

 см;

= 6.86 см.

Рассчитаем число витков контурной катушки

= 6.86 ≈ 7,

где L0 – индуктивность катушки в мкГн.

Определим диаметр провода катушки d (мм)

Iк = Uk1 ∙2 ∙ π ∙ f ∙ C1 = 18.4 ∙2 ∙ π ∙25 ∙ 106 ∙ 430 ∙ 10-12 = 1.2 A;

d ≥ 0.18 ∙ Iк ∙= 0.18 ∙ 1.2 ∙= 0.48 мм ≈ 1 мм,

где Uk1 – амплитуда импульсов коллекторного напряжения; Iк – амплитуда контурного тока в амперах, f – рабочая частота в МГц.

Найдем собственное сопротивление потерь контурной катушки на рабочей частоте

r0 = 1.25 Ом,

где f – рабочая частота, МГц; d – диаметр провода, мм; D – диаметр катушки, мм.

Определим к.п.д. контура

ηк = rвн / ( r0 + rвн ) = 4.12 / (1.25 + 4.12 ) = 0.77.

# **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проектирования и расчетов отдельных блоков получились следующие результаты:

Кварцевый генератор построен по схеме емкостной трехточки и обеспечивает стабильность частоты порядка 10-6. Имеет выходную мощность 0.134 мВт и к.п.д. 0.14 %.

Усилитель мощности построен по схеме с общим эмиттером, имеет выходную мощность 36.8 Вт, к.п.д. равен 72 %.

Выходная согласующая цепь построена в виде П-образного контура с к.п.д. 77% и коэффициентом фильтрации 351.6.

Также в результате проектирования предъявлены требования к нерассчитанным блокам.

Проделанная работа закрепила полученные на лекциях знания в области проектирования и анализа работы радиопередающих устройств.

# Список литературы

1. Терещук Р. М., Фукс Л. Б. Малогабаритная радиоаппаратура: Справочник радиолюбителя – Киев: Наукова думка. – 1967
2. Лаповок Я. С. Я строю КВ радиостанцию. – 2-е изд., прераб. И доп. – М.: Патриот, 1992.
3. Шахгильдян В.В. и др., Радиопередающие устройства: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, - 1996.
4. Петров Б. Е., Романюк В. А., Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах.: Учебное пособие для радиотехн. Спец. Вузов. – М.: Высшая школа – 1989.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Параметры транзистора КТ 315Б

Обратный ток коллектора при UКБ = 10 В 1 мкА;

Обратный ток эмиттера при UЭБ = 5 В 30 мкА;

Выходное сопротивление h11Б  40 Ом;

Коэффициент передачи тока h21Э  50…350;

Выходная полная проводимость h22Б  0.3 мкСм;

Режим измерения h- параметров:

напряжение коллектора UК 10 В,

ток коллектора IК 1 мА;

Граничная частота коэффициента передачи fгр 250 МГц;

Емкость коллекторного перехода СК 7 пФ;

Постоянная времени цепи обратной связи τК 300 пс;

Максимально допустимые параметры

постоянное напряжение коллектор – эмиттер UКЭ MAX 15 В;

постоянный ток коллектора IК 100 мА;

рассеиваемая мощность без теплоотвода РMAX 150 мВт;

Диапазон рабочих температур +100…-55˚С.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Параметры транзистора КТ 927Б

Обратный ток эмиттера при Uк = 3.5В 0.1 мА;

Напряжение насыщения коллектор – эмиттер при Iк = 10 А 0.5 В;

Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте 5;

Статический коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ 30;

Емкость эмиттерного перехода 2300 пФ;

Емкость коллекторногоперехода 150 пФ;

Максимально допустимые параметры

постоянный ток коллектора 10 А;

импульсный ток коллектора 30 А;

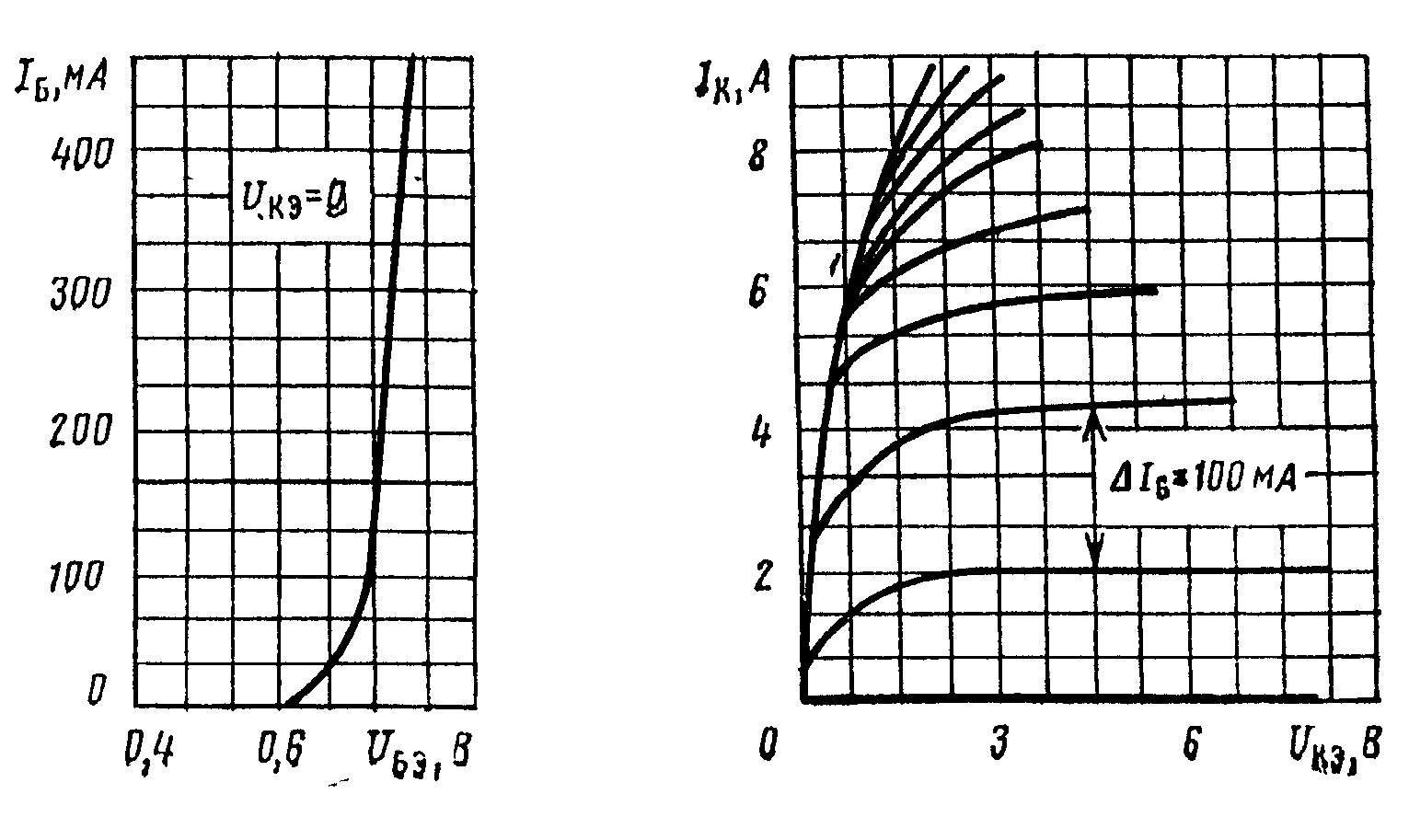
постоянное напряжение эмиттер – база 3.5 В;

постоянное напряжение коллектор – база 70 В;

постоянное напряжение коллектор – эмиттер 70 В;

рассеиваемая мощность коллектора 83.3 Вт;

Диапазон рабочих температур -60…+100˚С.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Схема электрическая принципиальная задающего генератора.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Спецификация к принципиальной схеме задающего генератора

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Поз. Обозначение | Наименование | Кол. | Примечание |
| C1, C3  C2  R1  R2  R3  VT1  ZQ1  L1 | Конденсаторы  КМ-6 - М75 – 2 нФ ±5%  КМ-6 - М75 – 220 нФ ±5%  *Резисторы*  МЛТ - 0,125 – 5,6 кОм ± 10%  МЛТ - 0,125 – 12 кОм ± 10%  МЛТ - 0,125 – 430 Ом ± 10%  Транзистор КТ315Б Кварцевый резонатор на частоту 3125 кГц *Катушки индуктивности*  28 мкГн | 2  1  1  1  1  1  1 |  |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Спецификация к принципиальной схеме усилителя мощности

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Поз. Обозначение | Наименование | Кол. | Примечание |
| C1, C2  C3  С4  С5  С6  R1  R2  VT1  L1  L2  L3 | Конденсаторы  Рассчитываются во входной согласующей цепи  К73-11 – 10 мкФ ± 10%  КТ – Н70 - 430 пФ ± 10%  КТ – Н70 - 22 пФ ± 10%  КТ – Н70 - 360 пФ ± 10%  *Резисторы*  МЛТ - 0,5 – 280 Ом ± 10%  МЛТ - 0,5 – 15 Ом ± 10%  Транзистор КТ927Б  *Катушки индуктивности*  Рассчитывается во входной цепи  10 мкГн  2 мкГн | 1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1 |  |