ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра телевидения и управления (ТУ)

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОПЕРЕДАТЧИКА

Пояснительная записка к курсовому проекту по дисциплине:

”Формирование Сигналов”

Студент гр. 146-2

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Верховин В.В.

“\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2009 г.

Руководитель:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ильин А.Г.

“\_\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2009 г.

2009

# РЕФЕРАТ

Курсовой проект 33 стр., 5 источника, 6 рис.

ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ЧМ), РАДИОПЕРЕДАТЧИК, УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ, МОДУЛИРУЕМЫЙ КАСКАД, УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, КВАРЦЕВЫЙ АВТОГЕНЕРАТОР, ВЫХОДНАЯ МОЩНОСТЬ, ВЫХОДНАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА (ВКС), БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

Объектом проектирования является радиопередатчик. Цель работы – приобретение навыков аналитического расчета радиопередающего устройства по заданным к нему требованиям.

В процессе работы производился расчет различных параметров и элементов радиопередатчика с частотной модуляцией.

Пояснительная записка выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007, графическом редакторе Microsoft Office Visio и математическом пакете MathCAD 14.

СОДЕРЖАНИЕ

[РЕФЕРАТ 2](#_Toc270237501)

[1 введение 4](#_Toc270237502)

[2 Выбор структурной схемы передатчика 5](#_Toc270237503)

[3 Расчет оконечного каскада 8](#_Toc270237504)

[3.1 Энергетический расчёт коллекторной цепи 8](#_Toc270237505)

[3.2 Расчет выходной колебательной системы 16](#_Toc270237506)

[3.4 Конструкторский расчет элементов ВКС 20](#_Toc270237507)

[3.5 Уточнение элементной базы. Коррекция выходного усилителя мощности 23](#_Toc270237508)

[4 Предоконечный усилитель мощности сигнала 25](#_Toc270237509)

[5 Расчет умножителя частоты 28](#_Toc270237510)

[6 Расчет модулируемого каскада 37](#_Toc270237511)

[заключение 48](#_Toc270237512)

[список использованной литературы 49](#_Toc270237513)

# 1 введение

Стремительный темп развития радиопередающих устройств диктует новые правила в области передачи сигнала на расстояния, а кроме того требует все более высоких качеств, предъявляемых к радиоаппаратуре, предназначенной для радиовещания.

В настоящее время для радиовещания используют ультракоротковолновый (УКВ) диапазон. Несмотря на потери при вещании в данном диапазоне и недостатки использования УКВ волн, к которым, в первую очередь, можно отнести возможность работы в зоне прямого видения, УКВ радиопередатчики получили довольно широкое применение. В данном проекте рассматривается именно радиопередатчик УКВ диапазона.

Частотная модуляция (ЧМ) заключается в принципе воздействия на частоту задающего генератора процессом, протекание которого повторяет вид передаваемого сообщения. Вследствие этого воздействия частота передаваемого радиосигнала изменяется по времени в соответствии с передаваемым сообщением. Физика получения ЧМ - колебаний в рамках данного проекта не рассматривается в виду громоздкости самого процесса.

Остается отметить (как следует из выше сказанного), что радиопередающие устройства предназначены для генерации электромагнитных колебаний высокой и сверхвысокой частоты и их модуляции в соответствии с передаваемым сообщением.

# 2 Выбор структурной схемы передатчика

Проектирование передатчика необходимо начинать с составления структурной схемы, которая в процессе проектирования уточняется, но на начальном этапе она в полной мере должна отражать все выполняемые радиопередатчиком функции.

Поскольку в радиопередатчике генерируются высокочастотные колебания, то в структурной схеме, безусловно, должен присутствовать автогенератор, который является источником высокочастотных колебаний. По ТЗ поставлена задача спроектировать передатчик с самостоятельным выбором типа стабилизацией частоты. Целесообразно применить кварцевую стабилизацию – она обеспечивает высокую стабильность частоты. Как правило, частоту кварцевого резонатора не рекомендуется выбирать выше 10 МГц (в крайнем случае, до 15 МГц), поскольку с ростом частоты повышается относительная нестабильность частоты. Но в нашем случае задан передатчик с рабочей частотой 68 МГц, поэтому полученные в автогенераторе колебания необходимо увеличить по частоте до необходимого значения, что в радиопередатчике осуществляется умножителем частоты. Коэффициент умножения находится по формуле:

 (2.1)

Принимая n=5 определим точное значение частоты автогенератора:

 (2.2)

Кроме того, мощность автогенератора не превышает десятков милливатт и для того, чтобы добиться необходимой мощности в антенне, необходимо усилить полученные высокочастотные колебания до заданного уровня. В этих целях используется усилитель мощности.

Для отсутствия потерь в тракте высокой частоты, т.е. для согласования отдельных блоков устройства, используют согласующие цепи, основной функцией которых заключается в трансформации сопротивлений сходящихся в одной точке соединения различных блоков. В функции согласующих цепей входит также и селекция, т.е. фильтрация колебаний являющихся побочным продуктом формирования полезного радиосигнала.

Осуществление ЧМ колебаний может вестись двумя способами: прямым и косвенным методами получения ЧМ колебаний. Более простым является первый метод, поэтому в данном проекте строится передатчик именно по этому принципу. Суть его заключается в прямом воздействии на задающий автогенератор с целью изменения его частоты.

Как видим из сказанного выше, в структурную схему радиопередатчика ЧМ колебаний входят следующие блоки: модулятор, воздействующий на автогенератор с целью изменения частоты генерации последнего; непосредственно автогенератор, генерирующий автоколебания заданной частоты; умножитель частоты, повышающий частоту колебаний, подаваемых с автогенератора; усилитель мощности; согласующие цепи. В качестве последних будем использовать колебательные системы, которые могут отвечать поставленным выше требованиям.

Согласно проведенным рассуждениям на рисунке 2.1 представлена структурная схема радиопередатчика ЧМ колебаний.

КГ

≈

ω

nω

УМ

А

≈

Рисунок 2.1- Структурная схема радиопередатчика ЧМ колебаний

Далее произведем расчет блоков структурной схемы радиопередатчика ЧМ колебаний представленных на рисунке 2.1. Расчет будем производить с конца схемы, т.е. от антенной цепи. В процессе данного расчета будет вводиться коррекция структурной схемы, необходимая для обеспечения заданных параметров. В основном коррекция будет заключаться в уточнении количества каскадов в том, или ином блоке радиопередатчика.

# 3 Расчет оконечного каскада

## 3.1 Энергетический расчёт коллекторной цепи

Основными данными к расчету резонансного усилителя мощности являются частота колебаний в режиме молчания (отсутствие передаваемого сообщения) и мощность на выходе усилителя в данном режиме. В нашем случае частота в режиме молчания равна 68 МГц. Заданная же по ТЗ мощность должна быть обеспечена на выходе передатчика, т.е. в антенне, и, поэтому, она не учитывает потерь в тракте, соединяющим выходной каскад (усилитель мощности) с антенной передатчика. В данный тракт входят, как правило, выходная колебательная система (более подробно чуть ниже) и фидер. Каждая из составляющих тракта вносит потери, определяемые ее коэффициентом полезного действия. Зачастую КПД колебательной системы лежит в пределах *ηк≈0.8*, а КПД фидера в пределах *ηф≈0.9*. Поэтому мощность на выходе усилителя определяется следующим образом:



Для дальнейшего расчета необходимо выбрать транзистор, параметры которого отвечали бы требованиям по частоте и выдерживали мощность, развиваемую усилителем. Выберем для оконечного каскада из 1 транзистор КТ950А. Его параметры:

|  |  |
| --- | --- |
| Сопротивление насыщения, rнас | 0.15 Ом |
| Сопротивление базы, rб | 0.6 Ом |
| Статический коэффициент усиления, h21э | 50 |
| Предельная частота усиления, fТ | 225 МГц |
| Емкость перехода коллекторного перехода, Cк | 150 пФ |
| Емкость эмиттерного перехода, Cэ | 1100 пФ |
| Предельное напряжение между коллектором и эмиттером, Uкэ.доп | 60 В |
| Предельное питание на коллекторе, Eк | 28 В |
| Предельный постоянный ток коллектора, Iко.мах | 10 А |
| Предельный импульсный ток коллектора, Iк.мах | 30 А |

Усилитель мощности, по сути, является генератором с внешним возбуждением. Как правило, генераторы с узкодиапазонной резонансной нагрузкой строят однотактными. Транзисторы могут работать с отсечкой тока, поскольку выходная цепь связи благодаря относительно низкому сопротивлению емкости Ск обеспечивает короткозамкнутую нагрузку на второй и более высоких гармониках. Применение двухтактных генераторов на специальных балансных транзисторах, при резонансной нагрузке не оправдано, поскольку в данном случае труднее обеспечить симметрию работы плеч. Важное преимущество двухтактных генераторов с широкодиапазонной нагрузкой связано с взаимной компенсацией (фильтрацией) четных гармоник, но при резонансной нагрузке оно не существенно, так как необходимая фильтрация достигается правильным выбором LC- элементов в выходной цепи генератора.

Из сказанного выше, не обременяя себя лишними проблемами, выберем в качестве усилителя мощности генератор с внешним возбуждением по однотактной схеме построения. Активный же элемент, используемый в качестве усилительного, включим по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Принципиальная схема усилителя мощности, выбранная в нашем случае, представлена на рисунке 3.1.

Uвх

+En

Uвых

Lбл2

C0

V Т

Lбл1

L0

C2

C1

Rб

Cбл2

Cбл1

Рисунок 3.1- Принципиальная электрическая схема ГВВ

Для расчета генератора с внешним возбуждением, построенного на биполярном транзисторе включенного по схеме с ОЭ, воспользуемся методикой изложенной в [3].

Рассчитаем амплитуду переменного напряжения на коллекторе (предварительный расчет):

*,* (3.1)

Рассчитываем напряжение источника коллекторного питания (предварительный расчет):

, (3.2)

Из ряда стандартных значений напряжений питания выберем напряжение равное *Ek=30В*. Рассчитываем амплитуду напряжения на коллекторе:

, (3.3)

Рассчитываем остаточное напряжение на коллекторе:

, (3.4)

Рассчитываем амплитуду импульса коллекторного тока:

 . (3.5)

Рассчитываем постоянную составляющую тока коллектора:

. (3.6)

Произведём расчёт высокочастотных Y–параметров на рабочей частоте. При расчёте значение тока эмиттера Iэ принимаем равным Iko. Расчёт вспомогательных параметров:

, (3.7)

, (3.8)

, (3.9)

. (3.10)

Расчёт Y–параметров:



, (3.11)

, (3.12)



. (3.13)

Активная составляющая выходного сопротивления транзистора:

, (3.14)

где Re(Y22)-действительная часть выходной проводимости.

Теперь, зная R22, найдем первую гармоники тока, протекающую через выходное сопротивление транзистора:

. (3.15)

Амплитуда первой гармоники коллекторного тока

. (3.16)

Первая гармоника тока, протекающая через нагрузочный контур:

*.*  (3.17)

Сопротивление нагрузочного контура, необходимое для обеспечения критического режима:

, (3.18)

Максимальная мощность, потребляемая от источника коллекторного питания:

. (3.19)

Мощность переменного тока, поступающая в нагрузочный контур:

, (3.20)

Таким образом, в нагрузочный контур поступает не вся генерируемая транзистором мощность *Р0*, а лишь её часть *Р11*, причём разность *Р0-Р11* составляет высокочастотные потери в транзисторе за счёт наличия паразитного сопротивления *R22*. Эти потери снижают К.П.Д. генератора и ухудшают тепловой режим работы транзистора.

Коэффициент полезного действия коллекторной цепи при номинальной нагрузке:

. (3.21)

Максимальная рассеиваемая мощность на коллекторе транзистора:

. (3.22)

На этом расчет коллекторной цепи можно считать законченным. Единственно, в дальнейшем необходимо будет учесть влияние выходного сопротивления транзистора в виде ослабления нагрузочного сопротивления, что приводит к уходу от критического режима работы, обеспечивающего оптимальный режим работы ГВВ.

Переходим к энергетическому расчёту цепей эмиттера и базы, используя методику, приведенную в [3].

Угол дрейфа на рабочей частоте (в градусах):

, (3.23)

Угол отсечки импульсов эмиттерного тока:

*Θэ = Θк – 0.5·ϕдр=90-0.5·17.23=1.420*, (3.24)

Модуль коэффициента усиления по току в схеме с общей базой на рабочей частоте:

, (3.25)

Первая гармоника тока эмиттера:

, (3.26)

Высота импульса тока эмиттера:

, (3.27)

Модуль комплексной крутизны транзистора на рабочей частоте:

, (3.28)

Амплитуда напряжения возбуждения на рабочей частоте:

, (3.29)

Постоянная составляющая тока базы:

, (3.30)

Напряжение смещения, обеспечивающее требуемый угол отсечки тока эмиттера:

*Еб = 0.7 – Umб·cosΘэ – Iбо·r'б=0.7-2.19·0.15-0.062·0.6=-0.34 B*, (3.31)

Угол отсечки импульсов тока базы:

, (3.32)

Определяем коэффициенты разложения базового тока: αоб=0.26, α1б=0.44. Активная составляющая входного сопротивления:

, (3.33)

Мощность возбуждения на рабочей частоте без учёта потерь во входном согласующем контуре:

, (3.34)

Коэффициент усиления по мощности, без учёта потерь во входном и выходном согласующих контурах:

, (3.35)

Общая мощность, рассеиваемая транзистором:

*Pтр=PК+Pвозб=32.23+2.42=29.82 Вт* (3.36)

## 3.2 Расчет выходной колебательной системы

При проектировании выходных колебательных систем (ВКС), устанавливаемых после оконечного каскада передатчика, на первом плане стоит обеспечение заданной фильтрации высших гармоник. Высшие гармоники тока или напряжения, образованные в процессе работы транзистора в нелинейном режиме, должны быть ослаблены в нагрузке передатчика (антенне, фидере) до уровня, определяемые международными нормами.

Кроме всего прочего, к ВКС ставиться требование к трансформации нагрузочного сопротивления при достаточно простой конструктивной реализации даже ценой некоторого снижения требований к КПД цепей связи и к фильтрации побочных составляющих. В отдельных случаях цепи согласования и коррекции могут включать полную или частичную трансформацию нагрузочных сопротивлений.

В узкополосных усилителях мощности на транзисторах широкое применение получил П-образный контур, принципиальная схема которого изображена на рисунке 3.2. Этот контур сводится к приведённому П-образному контуру (см. рис. 3.3).



Рисунок 3.2 Рисунок3.3

Данная цепь согласования – это, по сути, параллельный колебательный контур с разделёнными ёмкостями. Такое разделение и обеспечивает получение коэффициентов включения транзистора и нагрузки в контур, отличных от единицы. При определённом выборе коэффициентов включения осуществляется трансформация сопротивления нагрузки в оптимальное для каскада.

Очень важна в применяемой ЦС роль конденсатора *С0*. Во-первых, он осуществляет развязку каскадов по постоянному току, а главное, – обеспечивает реальность выполнения катушки индуктивности *L* (рис.3.3). Часто при расчётах величина индуктивности *L0* оказывается невыполнимо малой.

Поскольку *L*, *L0*, *C0* находятся в соотношении:

*XL=XL0-XC0*, (3.37)

то, при введении конденсатора *С0*, для постоянства величины эквивалентной индуктивности контура L необходимо увеличить значение индуктивности *L0* (скомпенсировать отрицательную ёмкостную реактивность). Это при определённом соотношении между *С0* и *L* приведёт к реальности выполнения катушки индуктивности *L0*.

Порядок расчета П – контура произведем согласно [3].

Величину характеристического сопротивления контура возьмем в пределах 250-500 Ом. ρ = 250 Ом. Определяем эквивалентную индуктивность контура *L*:

. (3.38)

Определяем минимально требуемую индуктивность контура *L0*:

. (3.39)

Примем величину *L0* равной *1.53·10-7 Гн* из условий, что *L0> L0`* и *L0>L*.

Определим емкость *С0*:

. (3.40)

Определяем величины ёмкостей конденсаторов *C1* и *C2*, исходя из требуемых коэффициентов включения для согласования нагрузки с транзистором:



 (3.41)



 (3.42)

Рассчитаем внесённое в контур сопротивление:

. (3.43)

Определим добротность нагруженного контура:

, (3.44)

где *r0=1.5 Ом* – сопротивление собственных потерь в контуре. В [3] рекомендуется принимать для этого параметра значения в диапазоне *1÷2(Ом).* Рассчитаем фактический коэффициент фильтрации П–контура:

, (3.45)

где n – порядок колебательной цепи. Для одиночного колебательного контура (однотактная схема) n=2, для двухтактной схемы n=3.

## 3.4 Конструкторский расчет элементов ВКС

В качестве элементов, входящих в ВКС, выступают в основном стандартные, такие как конденсаторы. Но, к сожалению, элемент, обеспечивающий необходимую индуктивность в ВКС, является нестандартным и не гостированным. Поэтому, подобные элементы, т.е. катушки индуктивностей, необходимо проектировать отдельно. Выходными данными в подобных расчетах, являются: параметры сердечника (основания) катушки, толщина намоточного провода, количество витков в намотке, сопротивление потерь. Методика расчета, приведенная ниже, соответствует методике представленной в [3]. На рисунке 3.4 представлено поперечное сечение катушки индуктивности и обозначены габаритные основные величины, используемые в дальнейшем при расчете. Порядок расчета следующий.

*D*

*l*

*d*

Рисунок 3.4 - Поперечное сечение катушки индуктивности

Зададимся соотношением длины катушки к её диаметру:

. (3.46)



Определим площадь продольного сечения катушки при удельной тепловой нагрузке Ks=0.6 Вт/см2:

. (3.47)

Определим длину l и диаметр D катушки по формулам:

, (3.48)

. (3.49)

Число витков N катушки:

. (3.50)

Для определения требуемого диаметра провода необходимо предварительно вычислить величину амплитуды тока, протекающего по катушке индуктивности, а, следовательно, и во всём контуре. В частности, ток контура протекает через конденсатор *С1*, который включен параллельно выходу транзистора. Тогда амплитуда колебаний тока контура определится как отношение амплитуды колебаний на конденсаторе (и на коллекторе, т.к. они включены параллельно) к величине ёмкостного сопротивления конденсатора:

. (3.51)

Минимально требуемый диаметр d[мм] провода катушки определяется выражением:

, (3.52)

где *Iконт* – амплитуда контурного тока в амперах;

*f0* – рабочая частота, МГц.

Вычислим собственное сопротивление потерь контурной катушки на рабочей частоте:

, (3.53)

где *f* – рабочая частота, МГц;

*d* - диаметр провода, мм;

*D* - диаметр катушки, мм.

Определим коэффициент полезного действия контура:

. (3.54)

На этом расчет ВКС считаем законченным. Теперь необходимо произвести электрический расчет выходного каскада передатчика, к чему мы, непосредственно, и переходим.

## 3.5 Уточнение элементной базы. Коррекция выходного усилителя мощности

В процессе расчета выходного усилителя мощности (см. пункт 3.1) были получены необходимые напряжения и токи, обеспечивающие работу транзистора по постоянному току. Для получения в определенных цепях транзистора требуемого постоянного тока рассчитаем элементную базу усилителя мощности. Начнем с рассмотрения конкретной схемы ГВВ представленной на рисунке 3.1.

Как показано на схеме, в цепи коллектора имеется источник питания, который необходим для усиления высокочастотного колебания (величина напряжения этого источника известна из предыдущих расчетов), но, кроме того, в коллекторной цепи имеются блокировочные конденсатор и низкочастотный дроссель. Данные элементы необходимы для того, чтобы высокочастотный сигнал не поступал на источник питания, что в свою очередь может привести к самовозбуждению. Величина емкости блокировочного конденсатора и индуктивности блокировочной катушки в цепи коллектора определяются следующим образом:

, (3.55)

. (3.56)

Для обеспечения рабочей точки, мы используем схему авто-смещения, которая обеспечивается включением в цепи базы сопротивления смещения и двух реактивных элементов (см. рисунок 3.1). Суть работы автосмещения заключается в следующем: часть энергии (отрицательный полупериод сигнала) поступающей на вход каскада ответвляется в цепь базы и заряжает блокировочную емкость в соответствии с ее импедансом по высокой частоте; напряжение, падающее на конденсаторе, по параллельной цепи, передается на сопротивление смещения, что в свою очередь и обеспечивает рабочую точку. Индуктивность в цепи базы необходима для развязки по переменной составляющей.

Элементы цепи базы рассчитываются следующим образом:

, (3.57)

, (3.58)

. (3.59)

Уточнение элементов произведено, т.е. на данном этапе произведен полный расчет резонансного усилителя мощности передатчика, как оконечного его каскада. На принципиальной схеме будем использовать стандартные номиналы элементов, величина которых близка к рассчитанной выше.

# 4 Предоконечный усилитель мощности сигнала

Та мощность, которая получена при расчете оконечного каскада (его мощность возбуждения) слишком высока для того, чтобы с ней оперировать (производить при данном уровне сигнала умножение частоты и, тем более, задавать напряжение эталонной частоты). Поэтому необходимо полученный сигнал возбуждения для оконечного ГВВ ослабить, т.е., другими словами, нам необходим еще один усилитель мощности. Этот усилитель мощности по своей структуре не будет отличаться от предыдущего каскада, а поэтому его расчет произведем на основании той же методики по формулам (3.1)–(3.36) и (3.5)–(3.59), при этом приведем лишь основные величины, полученные при расчете.

В качестве мощности на выходе данного каскада примем величину мощности возбуждения для оконечного усилителя мощности:

. (4.1)

Далее необходимо выбрать транзистор, параметры которого отвечали бы требованиям по частоте и выдерживали мощность, развиваемую усилителем. Выберем для предоконечного каскада транзистор КТ922А. Его параметры:

|  |  |
| --- | --- |
| Сопротивление насыщения, rнас | 3 Ом |
| Сопротивление базы, rб | 0.94 Ом |
| Статический коэффициент усиления, h21э | 50 |
| Предельная частота усиления, fТ | 300 МГц |
| Емкость перехода коллекторного перехода, Cк | 8 пФ |
| Емкость эмиттерного перехода, Cэ | 75 пФ |
| Предельное напряжение между коллектором и эмиттером, Uкэ.доп | 60 В |
| Предельное питание на коллекторе, Eк | 28 В |
| Предельный постоянный ток коллектора, Iко.мах | 0.8 А |
| Предельный импульсный ток коллектора, Iк.мах | 1.5 А |

Выбор данного транзистора дает при расчете следующие результаты:

* напряжение источника питания Ек = 30 В;
* амплитуда первой гармоники коллекторного тока Iк.1 = 0.21 А;
* постоянная коллекторного тока Iк.0 = 0.13 А;
* максимальный коллекторный ток Iк.mах. = 0.42 А;
* мощность, потребляемая от источника питания Р0mах = 3.99Вт;
* коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке η = 0.57;
* номинальное сопротивление коллекторной нагрузки Rэк.ном = 182.9 Ом;
* напряжение смещения Еб = 0.68 В;
* постоянная составляющая базового тока Iб.0 = 2.7 мА;
* входное сопротивление транзистора Rвх.тр. = 2.74 Ом;
* выходное сопротивление транзистора Rвых..тр. = 557.86 Ом;
* входная мощность Рвх. = 3.8 мВт;
* коэффициент усиления по мощности транзистора Кр = 594.5;
* сопротивление смещения в цепи базы Rб. = 256.4 Ом;
* блокировочная индуктивность в цепи базы Lбл.2 = 6.42⋅10 –8 Гн;
* блокировочная индуктивность в цепи коллектора Lбл.1 = 8.56 мкГн;
* блокировочная емкость в цепи базы Сбл.2 =9.1310 –11 Ф;
* блокировочная емкость в цепи коллектора Сбл.2 =3.2⋅10 –14 Ф.

Определяем параметры согласующего контура:







  
Полученная теперь мощность позволяет использовать необходимые в нашем случае умножители частоты.

# 5 Расчет умножителя частоты

Поскольку по ТЗ задана кварцевая стабилизация частоты, то рабочая частота 68 МГц слишком высока для использования кварцевого резонатора. Обычно частота кварца не превышает десятков мегагерц, а использование его на высших гармониках не рентабельна с точки зрения энергетического выхода. Поэтому то и необходимо применить схемы умножения частоты, и в принципе об этом уже отмечалось во введении.

Схема умножителя частоты ни чем не отличается от схемы усилителя мощности. Главное отличие – режим работы транзистора.

Основным недостатком умножителей частоты является низкий КПД, поскольку основным продуктом работы транзистора выступают высшие гармоники коллекторного тока. Чем выше коэффициент умножения (номер полезной гармоники), тем ниже КПД. Для повышения выхода энергии пользуются оптимальным углом отсечки, который определяется следующим выражением:

, (5.1)

В данном проекте будем использовать коэффициент умножения n = 5. Согласно (5.1) при данном коэффициенте умножения, оптимальный угол отсечки выберем 24 градусов. Методика расчета эквивалентна расчету усилителя мощности и ведется следующим образом.

 (5.2)

В качестве полезной мощности на выходе, выступает мощность возбуждения следующего по схеме каскада и равна Рвх. = 4.75 мВт.

По полученной мощности и частоте выберем в качестве нелинейного элемента, на основе которого будет построен умножитель частоты, транзистор КТ397А-2. Его параметры:

|  |  |
| --- | --- |
| Сопротивление насыщения, rнас | 428.57 Ом |
| Сопротивление базы, rб | 0.072 Ом |
| Статический коэффициент усиления, h21э | 150 |
| Предельная частота усиления, fТ | 1.06 ГГц |
| Емкость перехода коллекторного перехода, Cк | 1.3 пФ |
| Емкость эмиттерного перехода, Cэ | 1.5 пФ |
| Предельное напряжение между коллектором и эмиттером, Uкэ.доп | 40 В |
| Предельный постоянный ток коллектора, Iко.мах | 10 А |
| Предельный импульсный ток коллектора, Iк.мах | 20 А |

Рассчитаем амплитуду переменного напряжения на коллекторе (предварительный расчет):

*,* (5.3)

Рассчитываем напряжение источника коллекторного питания (предварительный расчет):

, (5.4)

Из ряда стандартных значений напряжений питания выберем напряжение равное *Ek=20В*. Рассчитываем амплитуду напряжения на коллекторе:

, (5.5)

Рассчитываем остаточное напряжение на коллекторе:

, (5.6)

Рассчитываем амплитуду импульса коллекторного тока:

. (5.7)

Рассчитываем постоянную составляющую тока коллектора:

. (5.8)

Произведём расчёт высокочастотных Y–параметров на рабочей частоте. При расчёте значение тока эмиттера Iэ принимаем равным Iko. Расчёт вспомогательных параметров:

, (5.9)

, (5.10)

, (5.11)

. (5.12)

Расчёт Y–параметров:



,(5.13)

, (5.14)



. (5.15)

Активная составляющая выходного сопротивления транзистора:

, (5.16)

где Re(Y22)-действительная часть выходной проводимости.

Теперь, зная R22, найдем первую гармоники тока, протекающую через выходное сопротивление транзистора:

. (5.17)

Амплитуда первой гармоники коллекторного тока

. (5.18)

Первая гармоника тока, протекающая через нагрузочный контур:

*.*  (5.19)

Сопротивление нагрузочного контура, необходимое для обеспечения критического режима:

, (5.20)

Максимальная мощность, потребляемая от источника коллекторного питания:

. (5.21)

Мощность переменного тока, поступающая в нагрузочный контур:

, (5.22)

Коэффициент полезного действия коллекторной цепи при номинальной нагрузке:

. (5.23)

Максимальная рассеиваемая мощность на коллекторе транзистора:

. (5.24)

Переходим к энергетическому расчёту цепей эмиттера и базы, используя методику, приведенную в [3].

Угол дрейфа на рабочей частоте (в градусах):

, (5.25)

Угол отсечки импульсов эмиттерного тока:

*Θэ = Θк – 0.5·ϕдр=24-0.5·3.66=22.170*, (5.26)

Модуль коэффициента усиления по току в схеме с общей базой на рабочей частоте:

, (5.27)

Первая гармоника тока эмиттера:

, (5.28)

Высота импульса тока эмиттера:

, (5.29)

Модуль комплексной крутизны транзистора на рабочей частоте:

, (5.30)

Амплитуда напряжения возбуждения на рабочей частоте:

, (5.31)

Постоянная составляющая тока базы:

, (5.32)

Напряжение смещения, обеспечивающее требуемый угол отсечки тока эмиттера:

*Еб = 0.7 – Umб·cosΘэ – Iбо·r'б=0.7-4.12·0.926-13.85=-3.11 B*, (5.33)

Угол отсечки импульсов тока базы:

, (5.34)

Определяем коэффициенты разложения базового тока: αоб=0.08, α1б=0.16. Активная составляющая входного сопротивления:

, (5.35)

Мощность возбуждения на рабочей частоте без учёта потерь во входном согласующем контуре:

, (5.36)

Коэффициент усиления по мощности, без учёта потерь во входном и выходном согласующих контурах:

, (5.37)

Общая мощность, рассеиваемая транзистором:

*Pтр=PК+Pвозб=+=Вт* (5.38)

Блокировочные индуктивность и емкость в цепи коллектора:

, (5.39)

.(5.40)

Сопротивление и реактивности авто смещения в цепи базы:

, (5.41)

, (5.42)

. (5.43)

Определяем параметры согласующего контура:









Умножитель мощности можно считать рассчитанным.

# 6 Расчет модулируемого каскада

Прямая частотная модуляция осуществляется: в полупроводниковых генераторах путем изменения параметров колебательного контура с помощью варикапов, варикондов, реактивного транзистора, нелинейной индуктивности, железоиттриевого граната (на частотах от нескольких сот мегагерц до десятков гигагерц); в диодных генераторах (на туннельном диоде, ЛПД, диоде Ганна) путем изменения напряжения смещения на диоде; в транзисторных RC-генераторах путем изменения режима работы транзистора (тока коллектора, напряжения смещения на переходе эмиттер-база).

В проектируемых и выпускаемых промышленностью связных и вещательных передатчиках все шире используется способ прямой ЧМ с помощью варикапа. На практике существуют различные варианты соединения варикапа с контуром автогенератора.

АГ в радиопередатчиках являются источником колебаний, несущая частота и амплитуда которого определяется только собственными параметрами схемы и должны в очень малой степени зависеть от внешних условий, не учитывая модуляцию несущей. В состав АГ обязательно входит активный элемент (транзистор), колебательная система, определяющая частоту колебаний и нелинейный элемент, управляющий элемент, влияющий на частоту, то есть изменяющий частоту настройки колебательной системы генератора.

Так как мощность автогенератора не превышает нескольких десятков милливатт, то транзистор может быть выбран из широкого класса маломощных германиевых и кремниевых транзисторов. Определяющими факторами при выборе выступают рабочая частота автогенератора и диапазон рабочих температур.

В автогенераторе следует применять транзистор с граничной частотой, много большей рабочей частоты. В этом случае можно не учитывать инерционные свойства транзистора, благодаря чему упрощается расчёт автогенератора, но, главное - уменьшается нестабильность частоты, связанная с нестабильностью фазового угла крутизны.

Далее расчёт производится по методике, описанной в [6].

Выбираем резонатор со РТЛМ - 17. Параметры резонатора:

Rk = 30 Ом

m = 0.077

Со = 2.5·10-12

За основу взят кварцевый ЧМАГ, описанный в [6, стр. 157] и изображенный на рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 - Частотно модулируемый кварцевый генератор

Для расчета возбудителя выберем транзистор КТ324А. Его параметры:

|  |  |
| --- | --- |
| Сопротивление насыщения, rнас | 30 Ом |
| Сопротивление базы, rб | 0.014 Ом |
| Статический коэффициент усиления, h21э | 50 |
| Предельная частота усиления, fТ | 800 МГц |
| Емкость перехода коллекторного перехода, Cк | 2.5 пФ |
| Емкость эмиттерного перехода, Cэ | 2.5 пФ |
| Предельное напряжение между коллектором и эмиттером, Uкэ.доп | 10 В |
| Предельный постоянный ток коллектора, Iко.мах | 20 мА |
| Предельный импульсный ток коллектора, Iк.мах | 50 мА |

Крутизна транзистора КТ324А при токе 4 мА составляет 784 мА/В. Определяем управляющее сопротивление генератора:

, (6.1)

где γ1(θ) = 0.2 исходя из запаса по возбуждению (примем не более 5%)

Находим значения ёмкостей обратной связи генератора:

, (6.2)

где Ко=0.4 – коэффициент обратной связи (выбирается от 0.2 до 0.8)

, (6.3)

 *Ом*, (6.4)

. (6.5)

Ёмкости С3 и С4 соответствуют ёмкостям указанных на рисунке 5.1.

Для обеспечения устойчивой работы автогенератора необходимо стабилизированное питание, поэтому включим стабилизатор напряжения на стабилитроне КС168А, тогда напряжение питания автогенератора будет равно 6.8 В.

Так как амплитудное значение модулирующего напряжения не указано в задании, то примем его 2.5В. Тогда амплитудное значение равно 2.5·√2 = 3.536 В, то для предотвращения открывания варикапа модулирующим напряжением и напряжением высокой частоты выберем напряжение смещения на варикапе равным 5В. При этом приведённое значение модулирующего напряжения:

В, (6.6)

где ϕр = 0.5 … 0.7 В. Берём 0.5 В.

Рассчитаем приведённое сопротивление варикапа:

.(6.7)

Определяем ёмкость варикапа при напряжении смещения 4В:

, (6.8)

Такую ёмкость обеспечивает варикап КВ109Г, используя последовательное соединение двух варикапов.

Параметры варикапа КВ109Г:

|  |  |
| --- | --- |
| Емкость варикапа -, | 8…17 пФ |
| Добротность QВ | 160 |
| Евн, | 4 В |
| Предельная частота f, | 50 МГц |
| Собр mах, | 25 В |

Используем встречно-последовательное соединение, когда варикапы соединяются последовательно в частотозадающую цепь генератора и параллельно по отношению к модулирующему напряжению и напряжению смещения.

Для обеспечения работы вблизи последовательного резонанса резонатора необходимо последовательно с резонатором включить индуктивность. Находим для двух граничных значений ёмкости варикапа значение индуктивности:

; (6.9)



При Срн = Свmin, L2min = 17.49 мкГн;

При Срн = Свmax, L2max = 8.42 мкГн;

 (6.10)

Катушка индуктивности перестраиваемая: при среднем положении подстроечника должна обеспечиваться индуктивность 12.96 мкГн, при введённом подстроечнике 17.49 мкГн, при выведенном 8.42 мкГн.

Определим коэффициент нелинейных искажений:

, (6.11)

Для уменьшения нелинейных искажений введём корректирующую индуктивность параллельно резонатору. Приведённое сопротивление индуктивности определяем по формуле:

, (6.12)

, (6.13)

Проверяем коэффициент нелинейных искажений с учётом L1:



 (6.13)

Kf = 0.65%, а это уже очень хорошо для вещательного передатчика.

Для предотвращения паразитного возбуждения через L1 необходимо последовательно с ней включить резистор сопротивлением 150–300 Ом, конкретное значение которого определяется в процессе настройки генератора. Для удобства настройки поставим переменный резистор сопротивлением 470 Ом.

Коэффициенты разложения тока исходя из условия Кз = 5 ( γ1 = 0.2):

α1 = 0.391 , αo = 0.218.

Ток базы:

, (6.14)

Ток эмиттера:

*Iэо = Iko + Iбо=20+0.4=20.4 мА,*  (6.15)

Амплитуда импульса коллекторного тока:

, (6.16)

Амплитуда первой гармоники коллекторного тока:

, (6.17)

Амплитуда напряжения на базе:

, (6.18)

Амплитуда первой гармоники базового тока:

, (6.19)



Входное сопротивление:

, (6.20)

Мощность, потребляемая от источника коллекторной цепью:

, (6.21)

где *Еэ = 3 В* для обеспечения термостабилизации каскада.

Мощность, рассеиваемая кварцем:

, (6.22)

Мощность, рассеиваемая транзистором:

*Рк = Ро – Ркв =0.076 – 0.01=66 мВт*, (6.23)

Амплитуда напряжения на коллекторе:

, (6.24)

Минимальное допустимое сопротивление нагрузки из условия, что выходная мощность составляет 10% от мощности, рассеиваемой на кварце:

, (6.25)

Выходная мощность:

*Рвых = 0.1·Ркв=1 мВт* , (6.26)

Резистор в цепи эмиттера:

, (6.27)

Смещение на базе:

*Еб = 0.7 + Еэ – Umб·cos(θ)–Iбо·Rвх=3.37В,*  (6.28)

Ток делителя:

*Iдел = 10·Iбо=4 мА,*  (6.29)

Базовый делитель:

, (6.30)

, (6.31)

Обратный ток варикапа:

*Iобр = 0.2 мкА,* (6.32)

Напряжение на анодах варикапов равно 0.4 В, на катодах 5.4В.

Сопротивление между анодами варикапов и землёй:

, (6.33)

Напряжения на R3 и R5 равно 0.2 В.

, (6.34)

Напряжение в средней точке делителя равно 5.6 В.

Ток делителя:

*IДЕЛв=20·2·IОБР=8мкА,* (6.35)

Сопротивления делителя:

, (6.36)

, (6.37)

Сопротивление R11

*R11=(Ek-Ek1)/(Ik+Iдел+IВ+IСб)=450кОм,*  (6.38)

где *Ek1=9 В*.

Конденсатор С1:

, (6.39)

, (6.40)

Конденсатор С2:

, (6.41)

Выходной разделительный конденсатор:

, (6.42)

Минимальный и максимальный ток стабилизации:

*Iстабmin = 2 мА, Iстабmax= 45 мА*. (6.43)

Потребляемый ток:

*Iпотр = IЭО + IДЕЛ=20мА*  (6.44)

Ток стабилитрона:

*Iстаб = 4 мА.*  (6.45)

Балансное сопротивление:

, (6.46)

Ёмкость фильтра из условия, что сопротивление источника питания равно 0.1 Ом:

, (6.47)

Все элементы модулируемого генератора посчитаны и, кроме того, можно считать, что просчитан весь передатчик в целом.

# заключение

В ходе проведенной работы был рассчитан радиовещательный ЧМ радиопередатчик мощностью 50Вт, работающий на частоте 68Мгц. Такой передатчик может быть применен для радиовещания в диапазоне УКВ OIRT (65,9-74 МГц). Однако сейчас все российские УКВ радиостанции вещают в диапазоне CCIR (88,0-108 МГц (Европа, Америка), 76-108 МГц (Япония)) и для диапазона OIRT приемников практически не выпускается. Целесообразнее было бы использовать диапазон ССIR еще и по причине наличия в продаже микросхем - монолитных ЧМ стерео передатчиков (вроде BA1404 и подобных) состоящих из стерео модулятора, ЧМ модулятора и ВЧ усилителя. Их применение позволило бы сильно упростить схему передатчика. Можно было применить микросхему ВА1404 и для передатчика на 68МГц, но для частоты ниже 76МГц потребовалось бы дополнительное тестирование (по данным даташита).

# список использованной литературы

1. Проектирование радиопередающих устройств: Учеб. пособие для вузов / В.В. Шахгильдян, В.А. Власов, В.Б. Козырев и др.; Под ред. В.В. Шахгильдяна. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1993 – 512 с.
2. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник / А.А. Зайцев, А.И. Миркин, В.В. Мокряков и др.; Под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1989.- 384 с.
3. Проектирование радиопередающих устройств на транзисторах. Методические указания. / Г.Д. Казанцев, А.Д. Бордус, А.Г. Ильин. – ТИАСУР ,1987 – 79с.
4. Проектирование радиопередающих устройств: Учеб. пособие для вузов / М.С Шумилин. – М.: Связь, 1980 – 152 с.
5. Транзисторы (справочник) / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев С.Л. Пожидаев – М.: Радио и Связь, 1989. - 272 с.
6. Г. Б. Альтшуллер, Н. Н. Елфимов, В. Г. Шакулин “Кварцевые генераторы” Мосва, Радио и связь, 1984/