Министерство образования

Российской Федерации.

Томский государственный университет систем

управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

## Кафедра радиоэлектроники и защиты информации (РЗИ)

Широкополосный усилитель мощности

Пояснительная записка к курсовому проекту по дисциплине “Схемотехника аналоговых электронных устройств”

Выполнил

студент гр.148-3

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Свалов С.С.

Проверил

преподаватель каф. РЗИ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Титов А.А.

Реферат

 Курсовая работа 35 с., 15 рис., 1 табл., 5 источников.

 УСИЛИТЕЛЬ, ТРАНЗИСТОР, КАСКАД, ЧАСТОТНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ, КОРРЕКТИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ, КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ

 В данной курсовой работе производится расчет широкополосный усилителя мощности амплитудно и частотно модулированных сигналов, а также различных стабилизирующих и корректирующих цепи.

 Цель работы - приобретение навыков расчета номиналов элементов усилительного каскада, подробное изучение существующих корректирующих и стабилизирующих цепей, умения выбрать необходимые схемные решения на основе требований технического задания.

 В процессе работы были осуществлены инженерные решения (выбор транзисторов, схем стабилизации и коррекции) и расчет номиналов схем.

 В результате работы получили готовую схему усилительного устройства с известной топологией и номиналами элементов, которую можно использовать для практического применения.

 Полученные данные могут использоваться при создании реальных усилительных устройств.

 Курсовая работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 97 и представлена на дискете 3,5” (в конверте на обороте обложки).

Содержание

1 Введение ---------------------------------------------------------------------------------- 3

2 Технические данные -------------------------------------------------------------------- 4

3 Расчеты ------------------------------------------------------------------------------------ 5

3.1 Определение числа каскадов------------------------------------------------------- 5

3.2 Распределение искажений ---------------- ----------------------------------------- 5

3.3 Расчет оконечного каскада ---------------------------------------------------------- 5

3.3.1 Расчет рабочей точки, выбор транзистора ------------------------------------ 5

3.3.2 Расчет эквивалентных схем ------------------------------------------------------ 10

3.3.3 Расчет схем термостабилизации ------------------------------------------------ 12

3.3.4 Расчет выходной корректирующей цепи -------------------------------------- 15

3.3.5 Расчет межкаскадной корректирующей цепи -------------------------------- 16

3.4 Расчет предоконечного каскада.---------------------------------------------------- 19

3.4.1 Расчет схемы термостабилизации ----------------------------------------------- 19

3.4.2 Расчет межкаскадной корректирующей цепи -------------------------------- 20

3.5 Расчет входного каскада.------------------------------------------------------------ 22

3.5.1 Расчет схемы термостабилизации ---------------------------------------------- 22

3.5.2 Расчет межкаскадной корректирующей цепи -------------------------------- 24

3.6 Расчет разделительных емкостей -------------------------------------------------- 26

3.7 Расчет итогового коэффициента усиления -------------------------------------- 27

4 Заключение ----------------------------------------------------------------------------- 28

Список использованных источников ------------------------------------------------ 32

Введение.

 Основная цель работы - получение необходимых навыков практического расчета радиотехнического устройства (усилителя мощности), обобществление полученных теоретических навыков и формализация методов расчета отдельных компонентов электрических схем.

 Усилители электрических сигналов применяются в широкой области современной техники: в радиоприемных и радиопередающих устройствах, телевидении, аппаратуре звукоусиления и звукозаписи, системах звукового вещания, радиолокации, ЭВМ. Как правило, усилители осуществляют усиление электрических колебаний с сохранением их формы. Усиление происходит за счет электрической энергии источника питания. Таким образом усилительные элементы обладают управляющими свойствами.

 Усилитель, рассматриваемый в данной работе, используется в радиотехнических системах различного назначения, в том числе и в системах нелинейной радиолокации, обеспечивая заданный уровень облучения нелинейного элемента.
Это необходимо для получения требуемого минимального уровня изучаемых нелинейным элементом составляющих обогащенного спектра сигнала.

2. Техническое задание

Усилитель должен отвечать следующим требованиям:

Рабочая полоса частот: 300-800 МГц

Линейные искажения

в области нижних частот не более 3 дБ

в области верхних частот не более 3 дБ

Коэффициент усиления 20 дБ

Выходная мощность Pвых=1 Вт

Диапазон рабочих температур: от +10 до +60 градусов Цельсия

Сопротивление источника сигнала и нагрузки Rг=Rн=50 Ом

3. Расчетная часть

 3.1. Определение числа каскадов.

 Число каскадов определяется исходя из технического задания. Данное устройство должно обеспечивать коэффициент усиления 20 дБ, поэтому целесообразно использовать три каскада, отведя на каждый по 7дБ, оставив запас по усилению мощности примерно вполовину.

 3.2. Распределение искажений амлитудно-частотной характеристики (АЧХ).

 Исходя из технического задания, устройство должно обеспечивать искажения не более 3дБ. Так как используется три каскада, то каждый может вносить не более 1дБ искажений в общую АЧХ. Эти требования накладывают ограничения на номиналы элементов, вносящих искажения.

 3.3. Расчет оконечного каскада.

 3.3.1. Расчет рабочей точки.

В данной схеме может использоваться как резистивный, так и дроссельный каскад. Произведем их расчет и выберем наиболее подходящий.

а) В цепи коллектора используется сопротивление

 Схема каскада приведена на рис.3.1.



Рисунок 3.1 – Схема оконечного каскада по переменному току.

 Обычно сопротивление в цепи коллектора и сопротивление нагрузки принимают одинаковыми. Рассчитаем энергетические параметры схемы:

Напряжение на выходе усилителя:

 , (3.1)

 где P- мощность на выходе усилителя, Вт;

 Rн – сопротивление нагрузки, Ом.

Тогда .

Выходной ток на сопротивлении нагрузки:

 , (3.2)

В данной схеме появится эквивалентное нагрузочное сопротивление, представляющее собой параллельное включение сопротивлений  и :



Тогда выходной ток будет таким:

 

где Rэквив – сопротивление цепи коллектора по переменному току, Ом.

Теперь можно определить рабочую точку [1]:

 , где  (3.3)

 

Напряжение источника питания будет следующим:

 . (3.4)

Нагрузочные прямые по постоянному и переменному току приведены на рис.3.2.

Расчет прямой по постоянному току производится по формуле:

  (3.5)

 Iк0=0: Uкэ0=Еп=35 В,

 Uкэ0=0: Iк0= Еп/ Rк=35/50А=0.7А.

 I, А

 0.88

 0.7

 R~

 0.44

 R\_

 13 24 35 U, В

Рисунок 3.2 – Нагрузочные прямые по постоянному и переменному току.

Расчет прямой по переменному току производится по формулам:

, ,

, .

Найдем так же мощность, рассеиваемую на транзисторе и мощность потребления цепи:

 (3.6)

 (3.7)

 б) В цепи коллектора используется дроссель

 Схема каскада приведена на рис.3.3.

Рассчитаем энергетические параметры:

 Значения  не изменятся.

 Эквивалентное нагрузочное сопротивление, возникшее в предыдущем пункте, здесь будет равно сопротивлению нагрузки, т.к.  заменил дроссель. Тогда выходной ток будет следующим:



ток в рабочей точке изменится:





Рисунок 3.3 – Схема оконечного каскада по постоянному току.

Запишем значения тока и напряжения в рабочей точке:

Uкэ0=13В

Iк0 =0.22А.

Напряжение источника питания:

Еп=Uкэ0 =13В.

Видно, что напряжение питания значительно уменьшилось. Нагрузочные прямые по постоянному и переменному току приведены на рис. 3.4.

 I, А

 0.44 R\_

 R~

 0.22

 13 24 U, В

Рисунок 3.4 – Нагрузочные прямые по постоянному и переменному току.

Расчет прямой по постоянному току:



Расчет прямой по переменному току:

, ,

 , .

Найдем так же мощность, рассеиваемую на транзисторе и мощность потребления цепи:





Сведем результаты расчетов в отдельную таблицу и проведем сравнительный анализ двух схем.

Таблица 3.1 - Сравнительный анализ схем

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| :Параметр |  |  |  |  |  |
| схема с  | 35 | 5.72 | 15.4 | 0.44 | 13 |
| схема без  | 13 | 2.86 | 2.86 | 0.22 | 13 |

Из таблицы видно, что мощность, рассеиваемая на транзисторе и мощность потребления цепи у дроссельного каскада в несколько раз меньше, чем у коллекторного, напряжение источника питания для него нужно небольшое, что выгодно отличает данную схему. В дальнейших расчетах она и будет использоваться.

 Выбор транзистора осуществляется исходя из технического задания, по которому можно определить предельные электрические и частотные параметры требуемого транзистора. В данном случае они составляют (с учетом запаса 20%):

Iк доп > 1.2\*Iк0=0.264 А

 Uк доп > 1.2\*Uкэ0=15.6 В (3.8)

Рк доп > 1.2\*Pрасс=3.43 Вт

 fт= (3-10)\*fв=(3-10)\*800 МГц.

Этим требованиям с достаточным запасом отвечает широко распространенный транзистор КТ 939А, основные технические характеристики которого приведены ниже [5]:

Электрические параметры:

1. Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ: ГГц;
2. Постоянная времени цепи обратной связи при : пс;
3. Статический коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ ;
4. Ёмкость коллекторного перехода при  В пФ;

Предельные эксплуатационные данные:

1. Постоянное напряжение коллектор-эмиттер В;
2. Постоянная рассеиваемая мощность коллектора  Вт;
3. Температура перехода К.

 3.3.2. Расчет эквивалентных схем транзистора КТ939А.

 а) Модель Джиаколетто.

Модель Джиаколетто представлена на рис. 3.5 [1].

Рисунок 3.5 - Эквивалентная схема Джиаколетто.

Необходимые для расчета справочные данные:

, постоянная цепи обратной связи.

 , статический коэффициент передачи тока базы.

, емкость коллекторного перехода.

 Найдем при помощи постоянной времени цепи обратной связи сопротивление базового перехода нашего транзистора:

 (3.9)

 Из справочных данных мы знаем, что при  , а  на 12В. Для того, чтобы свести параметры к одной системе воспользуемся формулой перехода:

 (3.10)

в нашем случае:



Теперь, зная все параметры, можно найти сопротивление:

, тогда 

 Найдем значение коллекторной емкости в рабочей точке по той же формуле перехода:



Найдем значения оставшихся элементов схемы:

, (3.11)

где  – паспортное значение статического коэффициента передачи,

 – сопротивление эмиттерного перехода транзистора. Тогда

.

Емкость эмиттерного перехода: , где  – типовое значение граничной частоты коэффициента передачи тока, взятое из паспортных данных транзистора.

Найдем оставшиеся параметры схемы:

 (3.12)

 (3.13)

 (3.14)

б) Однонаправленная модель.

Однонаправленная модель представлена на рис. 3.6 [1].

 При определении значений элементов высокочастотной модели воспользуемся паспортными данными транзистора:

 (3.15)

где  – входное сопротивление,  – выходная емкость,  – выходное сопротивление.

Рисунок 3.6 - Однонаправленная модель.

 В паспортных данных значение индуктивности не указано, воспользуемся параметрами ближайшего аналога - транзистора КТ913, поделив их на 3:



где  – индуктивности выводов базы и эмиттера.

В результате получим:





 3.3.3. Расчет схем термостабилизации рабочей точки транзистора выходного каскада.

 Схема эмиттерной термостабилизации приведена на рис.3.7.



Рисунок 3.7 – Схема эмиттерной термостабилизации.

Расчет номиналов элементов осуществляется исходя из заданной рабочей точки.

 Напряжение на резисторе  должно быть не менее 3-5 В (в расчетах возьмем 3В), чтобы стабилизация была эффективной.

 Рабочая точка:

Uкэ0= 13В,

Iк0=0.22А.

Учтя это, получим:

, где , а коллекторный ток – , что было получено ранее, тогда:

 и  Вт (3.16)

Базовый ток будет в  раз меньше коллекторного тока:

, (3.17)

а ток базового делителя на порядок больше базового:

 (3.18)

Учтя то, что напряжение питания будет следующим:

, (3.19)

найдем значения сопротивлений, составляющих базовый делитель:

  (3.20)

  (3.21)

 Схема активной коллекторной термостабилизации усилительного каскада приведена на рис. 3.8 [1].



Рисунок 3.8 – Схема активной коллекторной термостабилизации.

 В качестве управляемого активного сопротивления выбран маломощный транзистор КТ 361А со средним коэффициентом передачи тока базы 50. Напряжение на сопротивлении цепи коллектора по постоянному току должно быть больше 1 В или равным ему, что и применяется в данной схеме.

Энергетический расчет схемы:

 . (3.22)

Мощность, рассеиваемая на сопротивлении коллектора:

 . (3.23)

 Видно, что рассеиваемая мощность уменьшилась в три раза по сравнению с предыдущей схемой.

Рассчитаем номиналы схемы [1]:

 . (3.24)

Номиналы реактивных элементов выбираются исходя из неравенств:

 . (3.25)

Этим требованиям удовлетворяют следующие номиналы:

L=100 мкГн (Rн=50 Ом) и Сбл=1 мкФ (fн=300 МГц).

Схема пассивной коллекторной термостабилизации приведена на рис. 3.9

В данной схеме напряжение на  должно быть 5 – 10 В. Возьмем среднее значение – 7В.

Произведем энергетический расчет схемы:

. (3.26)

Мощность, рассеиваемая на сопротивлении коллектора:

. (3.27)

Видно, что при использовании данной схемы мощность будет максимальна.



 Рисунок 3.9 – Схема пассивной коллекторной термостабилизации.

Рассчитаем номиналы схемы:

 . (3.28)

 Сравнив эти схемы видно, что и с энергетической, и с практической точки зрения более эффективно использовать активную коллекторную термостабилизацию, которая и будет использоваться далее.

 3.3.4. Расчет выходной корректирующей цепи.

 Схема оконечного каскада с выходной корректирующей цепью приведена на рис.3.10.

Рисунок 3.10 – Схема оконечного каскада с выходной корректирующей цепью.

 От выходного каскада усилителя требуется получение максимально возможной выходной мощности в заданной полосе частот [1] Это достигается путем реализации ощущаемого сопротивления нагрузки для внутреннего генератора транзистора равным постоянной величине во всем рабочем диапазоне частот. Одна из возможных реализаций - включение выходной емкости транзистора в фильтр нижних частот, используемый в качестве выходной КЦ. Расчет элементов КЦ проводится по методике Фано, обеспечивающей максимальное согласование в требуемой полосе частот.

 По имеющейся выходной емкости каскада (вычисленной в пункте 2.3.2) найдем параметр b3, для расчета воспользуемся таблицей, приведенной в [1]:

 . (3.29)

 Из таблицы получим следующие значения параметров с учетом величины b3 (произведя округление ее в нужную сторону):

C1н=b1=1.9, L1н=b2=0.783, C1н=b3=1.292, S=0.292, 1.605.

 Разнормируем параметры и найдем номиналы элементов схемы:

 . (3.30)

 3.3.5 Расчет межкаскадной корректирующей цепи.

 Межкаскадная корректирующая цепь (МКЦ) третьего порядка представлена на рис. 3.11 [1].



Рисунок 3.11 - Межкаскадная корректирующая цепь третьего порядка.

 Цепь такого вида обеспечивает реализацию усилительного каскада с заданной неравномерностью АЧХ и с заданными частотными искажениями [1]. Коэффициент передачи каскада с МКЦ описывается функцией вида:

 (3.31)

 Функции передачи фильтров имеют такой же вид. Следовательно, данную цепь нужно рассчитывать исходя из теории фильтров. Методика расчета цепи приведена в методичке [1].

 В теории фильтров известны табулированные значения коэффициентов , ,  соответствующие требуемой форме АЧХ цепи описываемой функцией вида (3.31). Значения коэффициентов , , , соответствующие различной неравномерности АЧХ, приведены в [1]. Учтя заданную неравномерность АЧХ (), найдем значения коэффициентов в нашем случае:



 В предоконечном и входном каскадах будем использовать менее мощный транзистор КТ996А, а не КТ939А, Данный транзистор менее мощный, его выходная емкость и статический коэффициент передачи тока меньше, что обеспечит хорошее согласование. Необходимые для расчета параметры транзистора КТ996А таковы [5]:



 при 











****

 Для расчета нормированных значений элементов МКЦ, обеспечивающих заданную форму АЧХ с учетом реальных значений Cвых и Rн, следует воспользоваться рядом формул пересчета (подробно методика изложена в методичке [1]):

 Расчет заключается в нахождении ряда нормированных значений и коэффициентов, найдем нормированные значения :

,

, (3.32)

= 

 Здесь  и  - выходное сопротивление и емкость транзистора КТ996А, а  и  - входное сопротивление и индуктивность транзистора КТ939А.

В результате получим:

 

Зная это, рассчитаем следующие коэффициенты:

;

; (3.33)

;

получим:



Отсюда найдем нормированные значения , , и :



где ; (3.34)

;

;

.

При расчете получим:



и в результате:



Рассчитаем дополнительные параметры:

 (3.35)

 (3.36)

где S210- коэффициент передачи оконечного каскада.

Для выравнивания АЧХ в области нижних частот используется резистор , рассчитываемый по формуле:

 (3.37)

После расчета , , , истинные значения элементов находятся из соотношений:

, , , (3.38)





 

 Расчет оконечного каскада закончен.

 3.4 Расчет предоконечного каскада.

 Транзистор изменился, вместо КТ939А поставили КТ996А. Принципы построения схемы не изменились.

* + 1. Активная коллекторная термостабилизация.

 Схема активной коллекторной термостабилизации предоконечного каскада приведена на рис.3.12.



Рисунок 3.12 – Схема активной коллекторной термостабилизации.

Произведем расчет схемы:

Рабочая точка изменилась следующим образом:

 Uкэ0= 13В

Iк0= Iк0оконечного/S210Vtоконечного=0.09А.

 Энергетический расчет производится по формулам, аналогичным (3.22):



 Мощность, рассеиваемая на сопротивлении коллектора:

.

 Рассчитаем номиналы схемы по формулам (3.24):



Номиналы реактивных элементов цепи выбираются исходя из неравенств:

.

 Этому удовлетворяют номиналы

L=100 мкГн (Rэкв=98 Ом), и Сбл=1 мкФ (fн=300 МГц, R2=3625 Ом).

здесь  есть эквивалентное нагрузочное сопротивление каскада, представляющее собой параллельное включение сопротивлений  из МКЦ оконечного каскада, рассчитанное выше и выходного сопротивления транзистора.



* + 1. Межкаскадная корректирующая цепь.

Межкаскадная корректирующая цепь приведена на рис.3.13.

Методика расчета та же самая, коэффициенты  те же, изменяются только нормированные значения , а именно значение , в связи с тем, что теперь и на выходе стоит транзистор КТ996А.

Произведем расчет:

, , = 



Рисунок 3.13 - Межкаскадная корректирующая цепь третьего порядка.

Здесь значения входного и выходного сопротивления, выходной емкости и входной индуктивности соответствуют параметрам транзистора КТ996А.

В результате получим:

 

Зная это, рассчитаем следующие коэффициенты:

;

;

;

получим:



Отсюда найдем нормированные значения , , и :



где ;

;

;

.

При расчете получим:



и в результате:



Рассчитаем дополнительные параметры:





где S210- коэффициент передачи предоконечного каскада.

Найдем истинные значения элементов по формулам:

, здесь  есть эквивалентное нагрузочное сопротивление каскада, принцип получения которого описан выше.

, учтя это:



, , ,





 

Расчет предоконечного каскада окончен.

* 1. Расчет входного каскада.

 Транзистор входного каскада не изменился. Однако на входе каскада теперь стоит генератор, его сопротивление – 50 Ом.

* + 1. Активная коллекторная термостабилизация.

Схема активной коллекторной термостабилизации приведена на рис.3.14. Расчет схемы производится по той же методике, что и для оконечного каскада.



Рисунок 3.14 – Схема активной коллекторной термостабилизации.

 Все параметры для входного каскада остались прежними, но изменилась рабочая точка:

 Uкэ0= 13В,

 Iк0= Iк0предоконечного/S210Vt предоконечного=0.09/2.45=37мА.

 Энергетический расчет:



 Мощность, рассеиваемая на сопротивлении коллектора:

.

 Рассчитаем номиналы схемы:



Номиналы реактивных элементов цепи выбираются исходя из неравенств:

.

 Этому удовлетворяют номиналы

L=100 мкГн (Rэкв=49.2 Ом) и Сбл=1 мкФ (fн=300 МГц, R2=9667 Ом), где

 есть эквивалентное нагрузочное сопротивление каскада, представляющее собой параллельное включение сопротивлений  из МКЦ оконечного каскада, рассчитанное выше и сопротивления генератора.

* + 1. Расчет входной корректирующей цепи.

 Корректирующая цепь третьего порядка входного каскада приведена на рис.3.15.



Рисунок 3.15 – Входная корректирующая цепь третьего порядка.

Методика расчета та же самая, тип транзистора не изменился. На входе каскада стоит генератор, а не транзистор, как ранее, его параметры, необходимые для расчетов таковы:

 и 

Произведем расчет:

,

,

= 

Получим:

 

Зная это, рассчитаем следующие коэффициенты:

;

;

;

получим:



Отсюда найдем нормированные значения , , и :



где ;

;

;

.

При расчете получим:



и в результате:



Рассчитаем дополнительные параметры:





где S210- коэффициент передачи входного каскада.

Найдем истинные значения элементов по формулам:

 - эквивалентное нагрузочное сопротивление, принцип его получения описан выше.

 , учтя это:



, , ,





 

Расчет входного каскада окончен.

 3.6 Расчет разделительных емкостей.

 Устройство имеет 4 реактивных элемента, вносящих частотные искажения. Эти элементы – разделительные емкости. Каждая из этих емкостей по техническому заданию должна вносить не более 0.75 дБ частотных искажений. Номинал каждой емкости с учетом заданных искажений и обвязывающих сопротивлений рассчитывается по формуле [4]:

  (3.39)

где Yн – заданные искажения; R1 и R2 – обвязывающие сопротивления, Ом; wн – нижняя частота, Гц.

Приведем искажения, заданные в децибелах:

 , (3.40)

где М – частотные искажения, приходящиеся на каскад в децебеллах. Тогда

 

 Номинал разделительной емкости оконечного каскада:



 Номинал разделительной емкости предоконечного каскада:



 Номинал разделительной емкости промежуточного каскада:



 Номинал разделительной емкости входного каскада:



* 1. Расчет итогового коэффициента усиления.

Рассчитаем итоговый коэффициент усиления:

,

и переведем его в децибелы:



4. Заключение.

 В результате выполненной курсовой работы получена схема электрическая принципиальная широкополосного усилителя мощности АМ, ЧМ сигналов. Найдена топология элементов и их номиналы. Номинальный уровень выходной мощности усилителя – 1 Вт, коэффициент усиления – 40 дБ, неравномерность АЧХ - ±1 дБ, напряжение источника питания – 13 В. Усилитель рассчитывался для работы на полосе пропускания (300-800) Мгц.







Список использованных источников

1 Титов А.А. Расчет корректирующих цепей широкополосных усилительных каскадов на биполярных транзисторах – <http://referat.ru/download/ref-2764.zip>

2 Титов А.А. Расчет корректирующих цепей широкополосных усилительных каскадов на полевых транзисторах – <http://referat.ru/download/ref-2770.zip>

3 Титов А.А. Расчет диссипативной межкаскадной корректирующей цепи широкополосного усилителя мощности. //Радиотехника. 1989. № 2.

4 Мамонкин И.Г. Усилительные устройства: Учебное пособие для вузов. – М.: Связь, 1977.

5 Полупроводниковые приборы: Транзисторы. П53 Справочник. В.Л. Аронов, А.В. Баюков, А.А. Зайцев и др. Под общей редакцией Н.Н. Горюнова. – 2-е изд, перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 904с, ил.