**Реферат**

Курсовая работа 26 страниц, 12 рисунков, 4 источника, 3 приложения.

УСИЛИТЕЛЬ, УСИЛИТЕЛЬ ЗВУОВОЙ ЧАСТОТЫ.

Цель курсового проектирования — освоение основ проектирования и моделирования аналоговых электронных устройств, включая выбор и обоснование элементной базы, принимаемых схемных решений, выполнение расчетов параметров и режимов работы активных элементов и применение вычислительной техники для моделирования проектируемых устройств.

Для достижения цели курсового проектирования решались следующие задачи.

Освоение методики расчета и получения навыков проектирования и моделирования аналоговых электронных устройств.

Приобретение навыков выбора и обоснования структурных и принципиальных схем аналоговых устройств.

Получение навыков выбора элементной базы для реализации требуемых параметров усилителя.

Приобретение навыков работы со справочной литературой, со стандартами по оформлению технической документации, с пакетами прикладных программ по моделированию электронных устройств.

Приобретение навыков публичной защиты принимаемых решений.

В результате выполнения проекта составлена схема и произведен расчёт усилителя звуковой частоты, с коэффициентом усиления не менее 40 дБ, предназначенного для работы в диапазоне температур от -55 ºС до +125 ºС. Схема выполнена на одном операционном усилителе LF 156, который выбран в соответствии с заданными условиями. Схема состоит из одного каскада.

Моделирование производилось в Quite Universal Circuit Simulator 0.0.18. Моделирование подтвердило правильность проведенных ранее расчетов.

**ЗАДАНИЕ №12**

На курсовой проект по дисциплине

«Схемотехника аналоговых электронных устройств»

Студенту группы Подрядовой М.А. гр. 149-1

Дата выдачи задания 2.10.2021

Дата сдачи готового проекта 20.12 2021.

Тема проекта: **Усилитель звуковой частоты**

Исходные данные для проектирования:

1. Номинальное входное напряжение 10мВ.
2. Входное сопротивление 1 кОм.
3. Полоса рабочих частот 20Гц-20кГц.
4. Нагрузка 1 кОм, номинальное напряжение на нагрузке 1В.
5. Источник электропитания – обосновать напряжение и мощность.
6. Регулировка коэффициента усиления 20 дБ.

Вопросы, подлежащие разработке:

1. Выбор элементной базы, обоснование структурной схемы.
2. Выбор и обоснование схемы электрической принципиальной.
3. Расчет значений элементов схемы.
4. Расчет характеристик устройства.

Содержание графической части проекта:

1. Схема электрическая структурная.
2. Схема электрическая принципиальная.
3. Перечень элементов

Оглавление

[1 Введение 5](#_Toc56981049)

[2 Выбор и обоснование структурной схемы 6](#_Toc56981050)

[3 Выбор операционного усилителя 8](#_Toc56981052)

[4 Электрический расчет цепи 10](#_Toc56981053)

[4.1 Расчёт сопротивлений резисторов, выбор номиналов 10](#_Toc56981054)

[4.2 Расчёт ёмкостей 12](#_Toc56981055)

[5 Расчёт коэффициентов гармоник 15](#_Toc56981056)

[6 Расчёт отношения сигнал/шум 17](#_Toc56981057)

[7 Моделирование усилителя 18](#_Toc56981058)

[Заключение 22](#_Toc56981059)

[Список использованных источников 23](#_Toc56981060)

[Приложение А (Обязательное) Структурная схема 24](#_Toc56981061)

[Приложение Б (Обязательное) Перечень элементов 25](#_Toc56981066)

[Приложение В (Справочное) Технические характеристики ОУ – Lf 156 25](#_Toc56981070)

# 1 Введение

Цель курсового проекта – освоение основ проектирования и моделирования аналоговых электронных устройств, включая выбор и обоснование элементной базы, принимаемых схемных решений, выполнение расчетов параметров и режимов работы активных элементов и применение вычислительной техники для моделирования проектируемых устройств. Широкополосный усилитель применяются во многих областях современной науки и техники. Особенно широкое применение усилители имеют в радиосвязи и радиовещании, радиолокации, радионавигации, радиопеленгации, телевидении, звуковом кино, дальней проводной связи, технике радиоизмерений, где они являются основой построения всей аппаратуры.

Усилители осуществляют усиление электрических колебаний с сохранением их формы. Усиление происходит за счет электрической энергии источника питания. Таким образом, усилительные элементы обладают управляющими свойствами.

Устройство, рассматриваемое в данной работе, может широко применяться на практике

# 2 Выбор и обоснование структурной схемы

По заданным номинальным напряжениям сигнала на входе мВ и выходе усилителя по формуле (2.1) определяется требуемый коэффициент усиления.

; (2.1)

По формуле (2.1) определяем суммарный коэффициент передачи многокаскадного усилителя:

При ориентировочном определении числа каскадов воспользуемся формулой (2.2):

 (2.2)

.

Однако, невысокая верхняя частота в 20 кГц позволяет реализовать схему усилителя на одном каскаде на более быстродействующим ОУ. Такой подход к реализации схемы снизит уровень смещения нуля на выходе, а также упростит саму реализацию схемы. Общая электрическая схема будет выглядеть как:



Рисунок 2.1 – Электрическая схема

Для данной схемы был выбран неинвертирующий тип каскада.

Один каскад усиливает:

Для возможности регулировки коэффициента усиления в 20 дБ будем использовать плавную регулировку путем введения переменного резистора. Для уменьшения коэффициента усиления на 20 дБ, потребуется значение:

Для данной выбранной схемы число искажающих цепей 2, а значит и разделительных конденсаторов тоже 2, один устанавливается на входе каскада, другой на выходе.

# 3 Выбор операционного усилителя

Для однокаскадного усилителя линейные искажения распределять не требуется:.

Операционные усилители выбираются по трем параметрам, рассмотренным ниже.

1.Частота единичного усиления При коэффициенте частотных искажений на заданной верхней рабочей частоте усилителя для обеспечения коэффициента усиления каскада выбираемый ОУ должен иметь частоту единичного усиления, удовлетворяющую условию:

 (3.1)

где требуемая граничная частота каскада. , переведем в разы, тогда .

.

По формуле (3.1) считаем минимальную допустимую частоту единичного усиления для ОУ.

2.Максимальная скорость нарастания выходного напряжения ОУ.

Для обеспечения требуемой амплитуды выходного напряжения )каскада на верхней граничной частоте каскада в линейном режиме работы выбираемый ОУ должен иметь максимальную скорость нарастания выходного напряжения, удовлетворяющую неравенству:

 (3.2)

Таким образом .

3. Максимальное выходное напряжение.

 В.

Отсюда следует, что амплитуда выходного напряжения должно быть не менее, чем В.

На основании вышеприведённых параметров выбирается ОУ, в данной работе был выбран операционный усилитель LF-156 с параметрами (Приложение В).

Таблица 3.1 – Результаты расчета и выбора ОУ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | расчет | LF-156 |
|  |  | 5 МГц |
|  |  |  |
|  |  |  |

# 4 Электрический расчет цепи

# 4.1 Расчёт сопротивлений резисторов, выбор номиналов

Расчёт сопротивлений резисторов для усилительного каскада. Его производят на основе соотношений, определяющих коэффициенты усиления на средних частотах. Коэффициент усиления в устройствах с глубокой обратной связью определяет отношения сопротивлений резисторов, а не их номиналы.



Рисунок 4.1 – Неинвертирующий каскад

Для неинвертирующего каскада с плавной регулировкой (рисунок 4.1) коэффициент усиления с учетом допуска 5% рассчитывается по формуле:

 (4.1)

При выборе сопротивления резисторов необходимо учитывать, что справочное значение минимально-допустимого сопротивления нагрузки ОУ - должно быть меньше реального сопротивления нагрузки, так как только при этих условиях операционный усилитель удовлетворяет заявленным требованиям.

Все производимые резисторы имеют свой номинал и технологический разброс, поэтому при составлении схемы значение коэффициента усиления усилителя может отличаться от требуемого по ТЗ. Номиналы сопротивлений подбираются таким образом, чтобы даже в худшем случае требование ТЗ по усилению выполнялись. При расчёте каскада на требуемый коэффициент усиления номиналы сопротивлений выбирались из ряда Е24, который обеспечивает разброс параметров [1]. Примем сопротивление , это уменьшит шумы на входе.

 Из выражения 4.1 следует, что:

Минимальный коэффициент усиления неинвертирующео каскада с учетом допуска 5% равен ():

Тогда:

Ом.

Тогда регулировочное сопротивление будет равно:

кОм.

Выберем номиналы сопротивлений:

R1: C2-23-0.062-100 Ом 5% - ОЖО.467.104.ТУ.

R2: C2-23-0.062-1 кОм 5% - ОЖО.467.104.ТУ.

R3: СП3-16б-0.125-12 кОм 10% - ОЖО.468.363.ТУ.

Выполним проверку полученных данных.

Для минимального коэффициента усиления ():

,

Для максимального коэффициента усиления ():

,

Как видно из полученных результатов, даже при худших случаях уровня допуска, коэффициент усиления не опустится ниже требуемого.

Найдем сопротивление входа:

По ТЗ кОм, тогда примем кОм.

# 4.2 Расчёт ёмкостей

Для определения требуемых номиналов ёмкостей конденсаторов допустимые линейные искажения делятся на количество разделительных конденсаторов.

Для усилителей заданный коэффициент частотных искажений на нижней частоте складывается из суммы парциальных коэффициентов частотных искажений

 (4.2)

где число искажающих цепей (число конденсаторов в схеме).

В нашем случае число искажающих цепей 2, а значит и разделительных конденсаторов тоже 2, один устанавливается на входе каскада, другой на выходе (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Схема широкополосного усилителя с рассчитываемыми ёмкостями

Ёмкость разделительного конденсатора должна рассчитываться исходя из неравенства:

 (4.3)

где сопротивление слева, сопротивление справа.

Рассчитаем .

В данном случае сопротивление слева – внутреннее сопротивление источника , которое не учитывается и равно в данном случае 0. А сопротивление справа входное сопротивление каскада Rвх

,

Рассчитаем .

В этом случае сопротивление слева равно нулю, а сопротивление справа есть сопротивление нагрузки .

,

Конденсаторы, как и резисторы, имеют технологический разброс и номиналы, поэтому нельзя выбрать значение ёмкости конденсатора равное расчётному. Поэтому выбираем значение, удовлетворяющее неравенству (4.3). Номиналы емкостей выбирались из ряда Е12, который обеспечивает разброс параметров [1], С1=15 мкФ, С2=15 мкФ.

Местоположение рассчитываемых конденсаторов изображено на рисунке (3.3.)

Запишем номинальные значения полученных величин:

: К53-4а-50 В –15 мкФ 10% – ТУ 11 – АДПК 673547.003-93484.465.ТУ-93.

: К53-4а-50 В –15 мкФ 10% – ТУ 11 – АДПК 673547.003-93484.465.ТУ-93.

Выполним проверку полученных данных. Для этого воспользуемся формулами:

 , (4.4)

где сопротивление слева, сопротивление справа.

 (4.5)

где парциальные коэффициенты частотных искажений.

Таким образом, на основе выражений (4.4) и (4.5) получим:

,

,

Переведём в децибелы:

дБ.

Полученное значение коэффициента искажения на нижней частоте меньше требуемого по ТЗ, следовательно, расчет емкостей проведен верно.

Также выполним проверку коэффициента искажений на верхней частоте, для этого воспользуемся формулой:

 *,* (4.6)

где =

Отсюда по формуле (4.6) найдем:

Переведем в децибелы, получим:

Полученное значение коэффициента искажения на верхней частоте меньше требуемого по ТЗ, следовательно, расчет верен.

# 5 Расчёт коэффициентов гармоник

Оценка коэффициентов гармоник для одного каскада производится по формулам:

 (5.1)

где глубина обратной связи в каскаде для гармоники сигнала; амплитуда выходного сигнала этого каскада; максимальная амплитуда выходного напряжения i-ой – гармоники, обеспечиваемая ОУ; номер гармоники;

 (5.2)

где коэффициент передачи операционного усилителя; коэффициент передачи каскада ();

Если максимально достижимая амплитуда выходного напряжения на частоте сигнала больше напряжения питания, то принимают равным напряжению питания .

 (5.3)

Рассчитаем глубину обратной связи для второй и третьей гармоники по формуле (4.2):

где ; ц

.

Оценим коэффициенты гармоник:

Предельный коэффициент гармоник определяется по формуле (5.3):

Видно, что коэффициент гармоник имеет низкие показатели.

Учитывая то, что разрабатываемый широкополосный усилитель работает в интервале температур от , коэффициент гармоник тоже будет изменяться вследствие изменения напряжения смещения, но не существенно. Рабочий диапазон температур выбранного операционного усилителя удовлетворяют требованиям ТЗ.

# 6 Расчёт отношения сигнал/шум

Отношение сигнал/шум может быть рассчитано по формуле:

 (6.1)

где эффективное номинальное выходное напряжение устройства; модуль коэффициента передачи; спектральная плотность напряжения шума каскада, приведённая к его входу

Пределы интегрирования в знаменателе формулы (6.1) взяты в связи с диапазоном рабочих частот.

Эквивалентная спектральная плотность напряжения шума от всех источников, приведённая ко входу, определяется выражением:

 (6.2)

где температура в Кельвинах (); постоянная Больцмана ().

, . (6.3)

Для нашего каскада рассчитаем и по формуле (5.3):

, .

По формуле (3.11):

 нВ/Гц1/2.

Отношение сигнал/шум (в разах) рассчитаем по формуле (6.1):

Переведём отношение сигнал/шум в децибелы:

.

# 7 Моделирование усилителя

Моделирование усилителя проводилось в среде Quite Universal Circuit Simulator. Целью моделирования является получение ЛАЧХ, проверка требованиям ТЗ соответствия коэффициента усиления в области рабочих частот.

Для начала построим операционный усилитель, который нам может дать частоту единичного усиления равной 2.5 МГц, для этого рассчитаем емкость:

 R=106 Ом,

0.03185 пФ.



Рисунок 7.1 – Операционный усилитель

Далее нужно проверить частоту единичного усиления, для этого подключаем усилитель к источнику напряжения и строим ЛАЧХ.



Рисунок 7.2 – Схема каскада ОУ на основе подсхемы и ЛАЧХ подсхемы ОУ

На рис. 7.2 видно, что частота единичного усиления соответствует требуемой частоте.

На рис. 7.3 приведена принципиальная схема широкополосного ОУ для проведения моделирования в среде QUCS:



Рисунок 7.3 – Моделирование широкополосного усилителя в среде QUCS

На рис. 7.4 приведена ЛАЧХ принципиальной схемы широкополосного усилителя:



Рисунок 7.4 ЛАЧХ широкополосного усилителя в среде QUCS

Значение коэффициента усиления, полученное при моделировании равно 42.3 дБ.

Рассчитаем коэффициент частотных искажений на верхней частоте MВ=42.3-41.3=1 дБ.

Рассчитаем коэффициент частотных искажений на нижней частоте Mн=42.3-40=2.3 дБ.

Моделирование проведено верно, так как данные, полученные при моделировании, соответствуют данным, которые требуются по заданию.

Далее было проведено моделирование для худшего случая с учетом допусков для схемы, представленной на рисунке 7.5:



Рисунок 7.5 – Принципиальная схема широкополосного усилителя с учетом допусков в среде QUCS

На рис. 7.6 приведена ЛАЧХ принципиальной схемы широкополосного усилителя для худшего случая с учетом допусков



Рисунок 7.6 – ЛАЧХ широкополосного усилителя в среде QUCS при худшем случае работы

Значение коэффициента усиления, полученное при моделировании равно 41.5 дБ.

Рассчитаем коэффициент частотных искажений на нижней частоте Mн=41.5-38.7= 2.8 дБ.

Рассчитаем коэффициент частотных искажений на верхней частоте Mв=41.5-30.6=0.9 дБ

Моделирование проведено верно, так как данные, полученные при моделировании для худшего случая работы, соответствуют данным, которые требуются по заданию.

На рисунке 7.7 представлена схема и график ЛАЧХ при плавной регулировке.



а



б

Рисунок 7.7 – Схема (а) и график выходного импульса (б) при плавной регулировке

Разница между коэффициентом усиления с плавной регулировкой и без:

Величина регулировки немного больше 20 дБ, это обусловлено выбором номинала для подстрочного резистора с учетом допуска 10%. Подбор более точного номинала с меньшим допуском поможет уменьшить эту разницу.

# Заключение

В результате проделанной работы был спроектирован нормирующий широкополосный усилитель со следующими параметрами:

- коэффициент усиления не менее 40 дБ (40 дБ по ТЗ);

- верхняя граничная частота 20 кГц, Mв<3 дБ, согласно ТЗ;

- нижняя граничная частота 20 Гц, Mн<3 дБ, согласно ТЗ;

- коэффициент гармоник не превышает 0.032% в рабочей полосе частот от 20 Гц до 20 кГц;

- отношение сигнал/шум – не менее 78.361 дБ.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| результаты / исследуемые характеристики | моделирование | значение по ТЗ |
| *K*, дБ | 42.3 () | 40 |
| *Mв,* дБ | 1 | 3 |
| *Mн*, дБ | 2.3 | 3 |
| плавная регулировка, дБ | 21.5 | 20 |

# Приложение А

# (Обязательное)

##  Схема электрическая принципиальная

##

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Листт

24

РТФ. 468731.001 СЭ

 Разраб.

 Провер.

Авдоченко Б.И.

.

 Т. Контр.

 Н. Контр.

 Утверд.

Усилитель звуковой частоты

Лит.

Листов

24

ТУСУР РТФ

 Реценз.

Масса

Масштаб

Схема электрическая принципиальная

# Приложение Б

# (Обязательное)

# Перечень элементов

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Листт

24

РТФ. 468731.002 ПЗ

 Разраб.

 Провер.

Авдоченко Б.И.

 Т. Контр.

 Н. Контр.

 Утверд.

Усилитель звуковой частоты

Лит.

Листов

24

ТУСУР РТФ

 Реценз.

Масса

Масштаб

Перечень элементов

#

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Поз. обозн.** | **Наименование** | **Кол.** | **Примечание** |
|  | Конденсаторы |  |  |
| СP1 | К53-4а-50 В –15 мкФ ±10% – ТУ 11 – АДПК 673547.003-93484.465.ТУ-93 | 1 |  |
| СP2 | К53-4а-50 В –15 мкФ ±10% – ТУ 11 – АДПК 673547.003-93484.465.ТУ-93 | 1 |  |
|  | Резисторы |  |  |
| R1 | C2-23-0.062 Вт – 100 Ом 5% – ОЖО.467.104.ТУ. | 1 |  |
| R2 | C2-23-0.062 Вт – 1 кОм 5% – ОЖО.467.104.ТУ. | 1 |  |
| R4 | СП3-16б-0.125-12 кОм 10% – ОЖО.468.363.ТУ. | 1 |  |
| Rн | С2-23-0.062 Вт – 1 кОм±5% – Ожо.467.104.ТУ. | 1 |  |
| R3 | C2-23-0.062 Вт – 1 кОм 5% – ОЖО.467.104.ТУ | 1 |  |
|  | Микросхемы |  |  |
| DA | LF 156 | 1 |  |

# Приложение В

# (Справочное)

# Технические характеристики ОУ – LF 156

