

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Усилитель низких частот для электропроигрывающего устройства
УДК 621.375.026.029.4:681.444

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7А	Максуль Ирина Олеговна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Ярославцев Е.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева И.И.	—		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Арышева Г.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;
ОПК(У)-2	Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
ОПК(У)-3	Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей;
ОПК(У)-4	Готовность применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации;
ОПК(У)-5	Способность использовать основные приемы обработки и

	представления экспериментальных данных;
ОПК(У)-6	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;
ОПК(У)-7	Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;
ОПК(У)-8	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности;
ОПК(У)-9	Способность использовать навыки работы с компьютером, владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
ПК(У)-2	Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
ПК(У)-3	Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы виде научных отчетов, публикаций, презентаций
ПК(У)-4	Способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов
ПК(У)-5	Готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
ПК(У)-6	Способность разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы
ПК(У)-7	Способность осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ В.С. Иванова
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1А7А	Максуль Ирине Олеговне

Тема работы:

Усилитель низких частот для электропроигрывающего устройства	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.01.2021 №25-16/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования – усилитель низких частот для электропроигрывающего устройства.</p> <p>Цель исследования – разработка и исследование усилителя низких частот для электропроигрывающего устройства.</p> <p>Требования:</p> <ul style="list-style-type: none"> – $R_H = 8 \text{ Ом}$, характер нагрузки – активная; – $U_{\text{ВЫХ}} = \text{до } 7 \text{ В}$; – $U_{\text{ВХ}} = 2\text{-}8 \text{ мВ}$; – $M_H = M_B = \text{не более } 3 \text{ дБ}$;
---	--

	<ul style="list-style-type: none"> – $f_H = 20$ Гц; – $f_B = 20$ кГц; – $T_{oc} = 40^\circ C$.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Аналитический обзор литературы с целью изучения существующих схемотехнических решений разрабатываемого устройства; – Разработка структурной схемы устройства; – Разработка и расчёт принципиальной схемы устройства; – Моделирование разработанной схемы в программе MultiSim и ее исследование; – Макетирование оконечного каскада устройства и его исследование; – Сравнение теоретических и экспериментальных параметров разработанного устройства.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Схема электрическая принципиальная; – Перечень элементов.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.
Социальная ответственность	Авдеева И.И.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7А	Максуль Ирина Олеговна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1А7А	Максуль Ирина Олеговна

Школа	Отделение школы (НОЦ)
Уровень образования	Направление/специальность
Бакалавриат	11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы. В реализации проекта задействованы два человека: научный руководитель, инженер (студент).</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с нормами и нормативными расходования материалов: ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов», ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения».</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>УСН, страховые взносы – 30% от ФОТ.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>График проведения НТИ</i> 4. <i>Определение бюджета НТИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i> 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.02.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		27.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7А	Максуль Ирина Олеговна		27.02.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1А7А	Максуль Ирина Олеговна

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Тема ВКР:

Усилитель низких частот для электропроигрывающего устройства	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – усилитель низких частот для электропроигрывающего устройства. Рабочая зона – научная лаборатория с вытяжкой. Технологический процесс включает в себя следующие виды работ: работу с электрооборудованием, работу с паяльной станцией, припоем и флюсом. Площадь отапливаемого помещения 30,9 м ² , освещение смешанное, наличие ПК и рабочего места. Области применения – звуковая сфера, видеоаппаратура, радиотехника, также устройство может быть использовано в лаборатории.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.4.299-2015 и ТК РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020) Законодательные и нормативные документы по теме: ГОСТ 12.0.003-2015 ГОСТ 12.1.005-88 Федеральный закон №123 от 22.07.2013 г. ГОСТ Р 50571.3-2009 ГОСТ 12.1.007-76 ГОСТ 12.2.032-78 СанПиН 2.2.4.548-96 СанПиН 1.2.3685-21 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 СП 484.1311500.2020 ГОСТ Р 22.0.02-2016 ГОСТ 12.1.019-2017 ГОСТ 12.1.038-82 ГОСТ 12.1.045-84 ГОСТ 12.3.004-75 ГОСТ 12.1.004-91 ГОСТ Р 52105-2003
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторы: – Нестабильность микроклимата; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Вредные вещества; – Психофизические факторы (перенапряжение)

	<p>органов зрения (в процессе построений моделей, оформления расчетной части), умственное перенапряжение).</p> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Опасность поражения электрическим током; – Короткое замыкание; – Статическое электричество; – Пожароопасность; – Термическая опасность.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – Влияние вредных испарений на атмосферу; – Утилизация компьютеров, бытового мусора, люминесцентных ламп и отходов при пайке. – Утечка вредных веществ, сбросы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – Наиболее типичная ЧС: пожар <p>Профилактические мероприятия, требования к безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного крана и пожарного щита; – Обеспечение средствами индивидуальной защиты.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		01.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7А	Максуль Ирина Олеговна		01.03.2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2021	Обзор литературы	10
26.02.2021	Разработка структурной схемы устройств	10
15.03.2021	Разработка принципиальной схемы устройства	10
24.03.2021	Расчет принципиальной схемы	10
01.04.2021	Моделирование устройства в программе MultiSim и его исследование	10
22.04.2021	Макетирование окончного каскада устройства	20
03.05.2021	Проведение экспериментального исследования	20
16.05.2021	Оформление расчетно-пояснительной записки	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Ярославцев Е.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 133 с., 48 рис., 30 табл., 42 источника, 13 прил.

Ключевые слова: усилитель низких частот, усилитель мощности, предусилитель, стабилизация, обратная связь.

Объектом исследования является усилитель низких частот для электропроигрывающего устройства.

Цель работы – разработка и исследование усилителя низких частот для электропроигрывающего устройства.

В процессе исследования проводилось исследование схемы в программе MultiSim, макетирование оконечного каскада устройства, его настройка, снятие осциллограмм напряжений в ключевых точках схемы и основных характеристик усилителя.

В результате исследования была установлена работоспособность и выполнение требований технического задания как модели, так и макета.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: выходная мощность 6,125 Вт; диапазон усиливаемых частот 9 Гц до 152 кГц; максимальный коэффициент частотных искажений 0,6 дБ; максимальный коэффициент нелинейных искажений 1,058%; регулировка коэффициента усиления.

Область применения: звуковая сфера, видеоаппаратура, радиотехника.

В будущем планируется сборка макета предусилителя и изготовление корпуса устройства.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

усилитель низких частот (УНЧ): электронный прибор, предназначенный для усиления электрических колебаний, соответствующих слышимому человеком звуковому диапазону частот, то есть в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц.

усилительный элемент (УЭ): Активный электронный прибор, обладающий усилительными свойствами.

электронный усилитель (ЭУ): Устройство, предназначенное для увеличения мощности электрического сигнала без изменения его формы и частоты.

обратная связь (ОС): процесс передачи сигнала из выходной цепи усилителя во входную цепь.

предусилитель: предварительный усилитель, который преобразует слабый электрический сигнал в более мощный.

усилитель мощности (УМ): окончательный каскад многокаскадного усилителя, работающий с большими уровнями сигналами.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

УНЧ – усилитель низких частот;

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

ФЧХ – фазо-частотная характеристика;

ЭУ – электронный усилитель;

ИС – источник сигнала;

ИП – источник питания;

Н – нагрузка;

УЭ – усилительный элемент;

ЦС – цепь связи;

КУ – каскад усиления;

ПОКУ – предоконечный каскад усиления;
ОКУ – окончечный каскад усиления;
ПКУ – предварительный каскад усиления;
КПД – коэффициент полезного действия;
ОС – обратная связь;
ПОС – положительная обратная связь;
ООС – отрицательная обратная связь;
УМ – усилитель мощности;
ОЭ – общий эмиттер;
ОК – общий коллектор;
ОБ – общая база;
БУМ – бестрансформаторный усилитель мощности;
ВАХ – вольт-амперная характеристика.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021).
2. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
3. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.
5. СП 484.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования.
6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
7. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

8. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

9. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

10. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

11. ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

12. ГОСТ 12.3.004-75 Система стандартов безопасности труда. Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности.

13. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения.

14. ГОСТ Р 55102-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов.

15. ГОСТ Р 52105-2003 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения.

Оглавление

Введение.....	17
1 Обзор литературы по исследованию усилителей низких частот	18
1.1 Общие сведения об электронных усилителях.....	18
1.2 Общие сведения об обратной связи в усилителях.....	23
1.3 Общие сведения об усилителях мощности	24
2 Объект и методы исследования	30
3 Расчеты и аналитика	36
3.1 Предварительные расчеты. Анализ технического задания	36
3.2 Расчет оконечного каскада.....	37
3.3 Расчет ПКУ	46
3.4 Выбор регулятора громкости.....	60
4 Результаты экспериментального исследования.....	61
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	69
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	69
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	71
5.1.3 SWOT-анализ.....	72
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	74
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	74
5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	74
5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	75
5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	76
5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	83
5.4 Выводы	86
6 Социальная ответственность	87

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	87
6.2 Производственная безопасность	88
6.3 Экологическая безопасность.....	96
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	97
6.5 Выводы.....	99
Заключение	100
Список использованных источников	102
Приложение А ФЮРА. 468731.006 ЭЗ Усилитель низких частот.....	106
Приложение Б ФЮРА. 468731.006 ПЭЗ Усилитель низких частот	108
Приложение В Параметры транзисторов TIP3055 и TIP2955	111
Приложение Г Параметры транзисторов BD139 и BD140	112
Приложение Д Параметры транзистора 2SC2655	113
Приложение Е Осциллограммы напряжений и токов модели УНЧ.....	114
Приложение Ж Документация для изготовления печатной платы.....	120
Приложение И Осциллограммы напряжений схемы УМ.....	122
Приложение К Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок	125
Приложение Л SWOT-анализ	126
Приложение М Перечень этапов работы с распределением по исполнителям	129
Приложение Н Временные показатели проведения научного исследования...	131
Приложение П Календарный план-график проведения.....	132

Введение

Усилители низких частот (УНЧ) используются для записи или воспроизведения фотографической, магнитной, механической и других фонограмм при условии усиления напряжения, развиваемого микрофоном [1].

Актуальность работы обусловлена тем, что любой современный радиоприемник, магнитофон, проигрыватель не обходится без УНЧ. Несмотря на то, что данное устройство давно находится на рынке, спрос на данный класс устройств остается таким же высоким. Существует огромное разнообразие усилителей на рынке, находящихся в разной ценовой категории. В данной работе предлагается спроектировать усилитель, отличающийся низкой стоимостью, но относящийся к среднему классу звуковых преобразователей.

Объект исследования – УНЧ для электропроигрывающего устройства.

Предметом исследования является изучение и анализ процесса преобразования сигналов звуковых частот.

Данная работа посвящена разработке и исследованию УНЧ для электропроигрывающего устройства. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать заданное техническое задание;
- провести литературный обзор существующих вариантов решений для разрабатываемого устройства;
- выбрать и обосновать структурную схему устройства;
- выбрать и обосновать принципиальную схему устройства;
- рассчитать принципиальную схему устройства;
- подобрать необходимые компоненты;
- собрать схему в MultiSim и произвести ее настройку;
- исследовать схему (снять амплитудную характеристику, амплитудно-частотную (АЧХ) и фазочастотную характеристику (ФЧХ), нагрузочную прямую и т.д.);
- провести макетирование окончательного каскада и его исследование.

1 Обзор литературы по исследованию усилителей низких частот

1.1 Общие сведения об электронных усилителях

Увеличение выходной мощности в электронных усилителях (ЭУ) происходит за счёт источника питающего напряжения при помощи активных приборов, обладающих усилительными свойствами [2]. Структурная схема электронного усилителя представлена на рисунке 1.1.

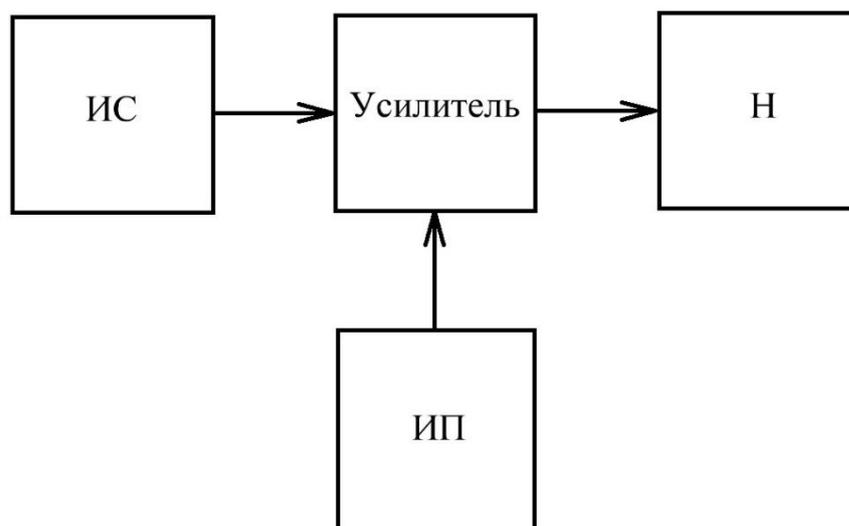


Рисунок 1.1 – Структурная схема электронного усилителя

Источником входного сигнала (ИС) может быть любой датчик, сигнал которого необходимо усилить (например, головка магнитофона, термопара и т.д.). В работе будет рассматриваться электропроигрывающее устройство с головкой звукоснимателя с подвижным магнитом.

Нагрузка (Н) – любое устройство, которое для нормальной работы использует выходной сигнал усилителя (например, колонка, гальванометр, реле и т.д.).

Источник питания (ИП) снабжает устройство электрической энергией. Кроме того, этот ИП очень часто используется для задания рабочей точки усилительного элемента.

Очень часто усиления, которое обеспечивает один каскад, недостаточно. В этом случае несколько усилительных каскадов включают последовательно, образуя многокаскадный усилитель [3].

Важнейшими техническими показателями усилителя являются: коэффициенты усиления (по напряжению, току и мощности), входное и выходное сопротивления, выходная мощность, коэффициент полезного действия, диапазон усиливаемых частот, а также показатели, характеризующие нелинейные, частотные и фазовые искажения сигнала [4]. Рассмотрим функциональную схему усилителя, изображенную на рисунке 1.2, и с помощью нее получим формулы основных параметров усилителя.

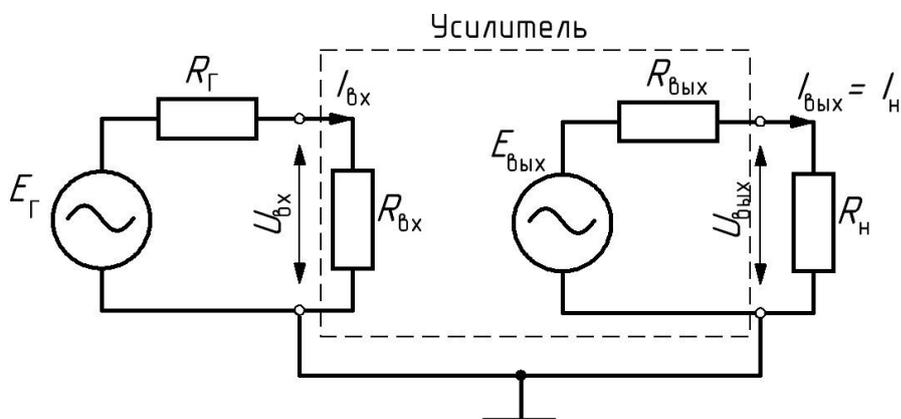


Рисунок 1.2 – Функциональная схема усилителя

– Коэффициенты усиления

Коэффициентом усиления по напряжению называется величина, равная отношению напряжения сигнала на выходе усилителя к напряжению на его входе:

$$K_U = \frac{U_{\text{ввых}}}{U_{\text{вх}}}. \quad (1)$$

Для многокаскадных усилителей результирующий коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов:

$$K_U = K_{U1} \cdot K_{U2} \cdot \dots \cdot K_{Un}. \quad (2)$$

Коэффициент усиления, вычисленный по формуле (1), представляет собой безразмерную величину. В электронике очень часто используется иной способ выражения усилительных свойств – в децибелах (дБ):

$$K_U, \text{ дБ} = 20 \cdot \lg K_U. \quad (3)$$

Также важными показателями усилителя являются коэффициенты усиления по току и по мощности, которые также могут быть выражены в дБ:

$$K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}; \quad (4)$$

$$K_I, \text{ дБ} = 20 \cdot \lg K_I; \quad (5)$$

$$K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} > 1; \quad (6)$$

$$K_P, \text{ дБ} = 10 \cdot \lg K_P; \quad (7)$$

$$K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}} = K_U \cdot K_I. \quad (8)$$

– Входное и выходное сопротивления

По схеме, изображенной на рисунке 1.2, видно, что сопротивление между входными зажимами усилителя равно:

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}}. \quad (9)$$

Выходное сопротивление определяют между выходными зажимами усилителя при отключенном сопротивлении нагрузки $R_{\text{Н}}$ [4].

– Выходная мощность

Выходную мощность, отдаваемую усилителем в нагрузку, можно найти по следующей формуле:

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}^2}{R_{\text{Н}}} = I_{\text{Н}}^2 \cdot R_{\text{Н}} = I_{\text{Н}} \cdot U_{\text{ВЫХ}} = \frac{I_{\text{мВЫХ}} \cdot U_{\text{мВЫХ}}}{2}, \quad (10)$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$ – действующее значение выходного напряжения;

$U_{\text{мВЫХ}}$ – амплитудное значение выходного напряжения.

– КПД

Численно КПД можно вычислить по следующей формуле:

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_0}, \quad (11)$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ – мощность в нагрузке;

P_0 – потребляемая от источников мощность.

– Диапазон усиливаемых частот

Полоса пропускания усилителя или рабочий диапазон частот определяется точно так же, как для любой электрической цепи: в пределах полосы пропускания коэффициент усиления изменяется не больше предельно допустимого значения. Это значение зависит от вида аппаратуры и всегда указывается в техническом задании.

– Искажения в усилителях

Для усилителей выделяют следующие типы искажений: частотные, фазовые (вместе представляют собой линейные искажения) и нелинейные искажения.

Нелинейные искажения обусловлены нелинейностью элементов. Нелинейные искажения в усилительной технике неизбежны [5].

В результате нелинейных искажений на выходе усилителя появляются высшие гармоники. Для количественного определения и учета данных искажений используется специальный параметр, который называется коэффициентом нелинейных искажений или коэффициентом гармоник [6]. Вычисляется он по следующей формуле:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}, \quad (12)$$

где $I_1(U_1)$ – действующее (или амплитудное) значение основной (первой) гармоники сигнала;

$I_2(U_2), I_3(U_3), \dots, I_n(U_n)$ – действующие (или амплитудные) значения высших гармоник из спектра сигнала.

Частотные искажения обусловлены различным усилением гармоник из спектра входного сигнала. Причина – наличие в схемах усилителей реактивных элементов, сопротивление которых зависит от частоты [7].

Частотные искажения оценивают по его АЧХ. На рисунке 1.3 представлен примерный вид АЧХ УНЧ.

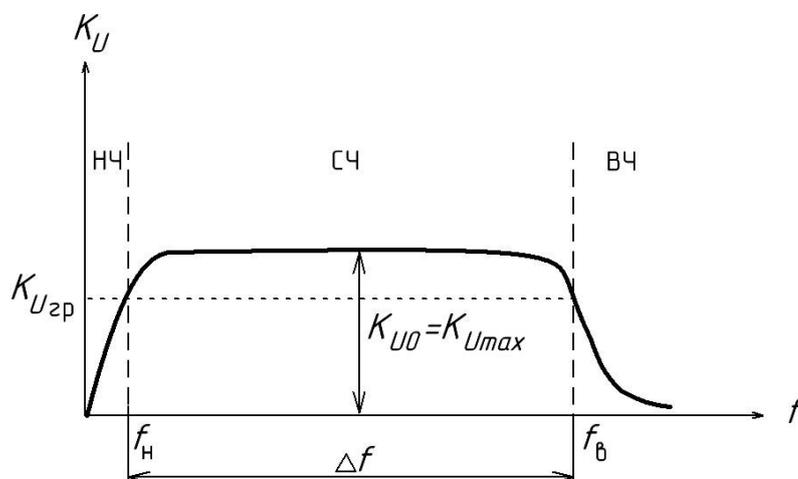


Рисунок 1.3 – Примерный вид АЧХ УНЧ

Количественно частотные искажения определяют с помощью специального параметра, который называется коэффициент частотных искажений:

$$M_j = \frac{K_{U0}}{K_{Uj}}, \quad (13)$$

где K_{U0} — коэффициент усиления на средних частотах (максимальное значение);

K_{Uj} — коэффициент усиления на определенной частоте [8].

Коэффициент частотных искажений часто на практике задается в дБ:

$$M_j, \text{ дБ} = 20 \cdot \lg M_j; \quad (14)$$

Фазовые искажения обусловлены различным фазовым сдвигом, который получают гармоники из спектра входного сигнала, проходящие через усилительный тракт [9]. Количественно фазовое искажения обозначается Φ_j , определяется по величине угла, заключенного между касательной к характеристике и значением фазового сдвига на рассматриваемой частоте:

$$\Phi_j = \varphi_{K_{Uj}}. \quad (15)$$

1.2 Общие сведения об обратной связи в усилителях

Блок-схема усилителя с обратной связью (ОС) изображена на рисунке 1.4.

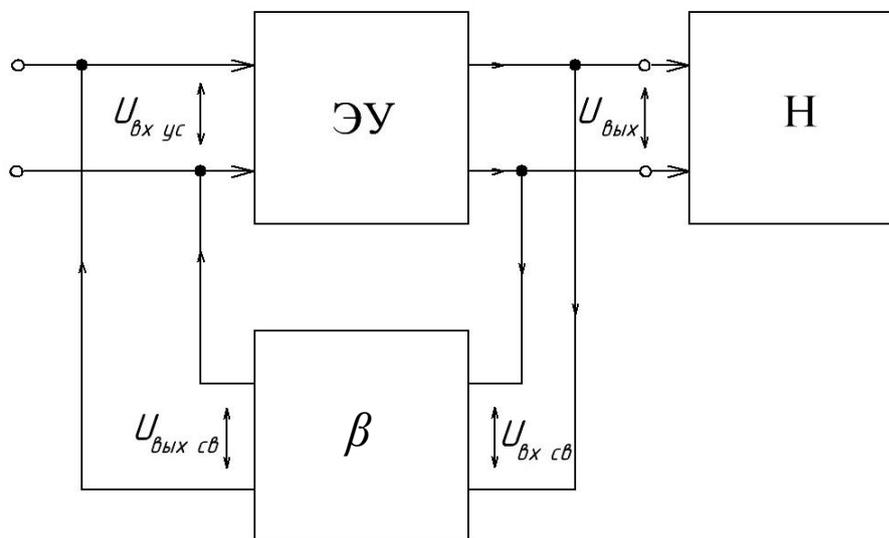


Рисунок 1.4 – Блок схема усилителя с ОС [10]

Замкнутый контур, включающий в себя цепь ОС и часть усилителя, которую данная цепь охватывает, называется петлей ОС. Если петля охватывает весь усилитель, то ОС называется общей. Если петля охватывает только какой-то каскад или часть каскадов в многокаскадном усилителе, то ОС называется местной или локальной. Если в усилителе имеется лишь одна петля ОС, то связь – однопетлевая. Если петель несколько – многопетлевая [11].

Если $U_{св}$ совпадает по фазе со входным напряжением, то ОС называется положительной (ПОС). Если $U_{св}$ противофазно $U_{вх}$, то ОС – отрицательная (ООС).

ПОС очень широко используется при построении генераторов сигналов. ООС используется в усилительных устройствах для улучшения большинства параметров [12]. Например, ООС увеличивает входное сопротивление в глубину обратной связи, а также снижает входную емкость каскада в глубину ОС, то есть увеличивает частотные свойства каскада на высоких частотах. Также при введении ООС изменение коэффициента усиления существенно

уменьшается, то есть стабильность коэффициента усиления системы с ООС растёт. Частотные искажения также уменьшаются в число раз, равное сквозной глубине ООС в области средних частот [13]. Но, несмотря на это есть существенный недостаток: снижение коэффициента усиления системы в глубину ОС. Но при этом ООС используется практически во всех усилителях.

1.3 Общие сведения об усилителях мощности

Требования, предъявляемые к УМ:

- а) минимальные нелинейные искажения;
- б) максимально возможный КПД [14].

Основная классификация усилителей мощности:

- а) по количеству УЭ, работающих за период усиления входного сигнала:
 - однотоктные (один УЭ);
 - двухтактные (два УЭ работают по очереди – в два такта).
- б) по классу усиления:
 - класс *A* – используется для однотоктных схем при относительно небольшой выходной мощности (до 1 Вт);
 - класс *B* – УЭ работают без начального смещения – используется в двухтактных УМ;
 - класс *AB* – самый распространенный режим работы УМ звуковых сигналов. Смещение выбирается небольшим и одинаковым для двух УЭ.
- в) по способу подключения нагрузки к выходу каскада:
 - трансформаторные (с трансформаторным выходом);
 - бестрансформаторные (с непосредственной связью).
- г) По схеме включения УЭ:
 - с общим эмиттером (ОЭ);
 - с общей базой (ОБ);
 - с общим коллектором (ОК).

На рисунке 1.5 изображен одноконтный трансформаторный УМ по схеме с ОЭ.

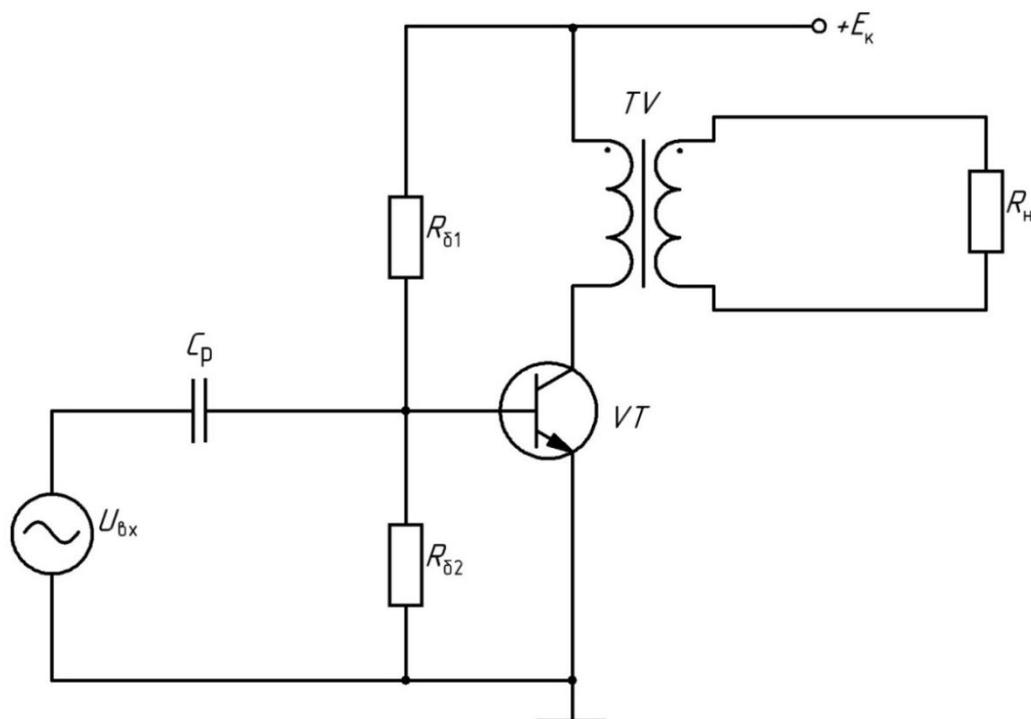


Рисунок 1.5 – Схема одноконтного УМ [15]

Одноконтные усилители мощности применяются при относительно малых значениях выходной мощности – единицы Вт [16].

Среди бестрансформаторных усилителей мощности (БУМ) можно выделить следующие базовые схемы:

- а) БУМ на одиночных транзисторах одинакового типа проводимости:
 - с однополярным питанием и разделительным конденсатором;
 - с двухполярным источником питания.

Базовая схема БУМ с разделительным конденсатором представлена на рисунке 1.6.

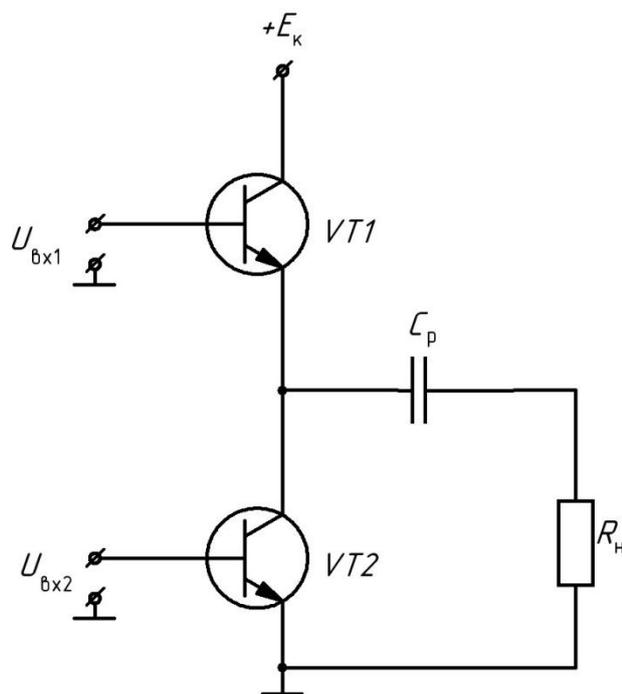


Рисунок 1.6 – БУМ на одиночных транзисторах одинакового типа проводимости с однополярным питанием и разделительным конденсатором

Особенности данной схемы:

- а) транзисторы имеют одинаковый тип. Значит, проще найти и подобрать 2 экземпляра с близкими параметрами;
- б) однополярный источник питания;
- в) два источника входных напряжений, которые должны быть одинаковы по модулю, но противофазны, то есть транзисторы работают по очереди;
- г) при работе нижнего плеча схемы в качестве источника питания выступает разделительный конденсатор. Также конденсатор не пропускает постоянный ток в нагрузку;
- д) схема может работать в классе *B*, а также *AB*. Для этого используются специальные схемы смещения [17].

Базовая схема БУМ с двухполярным питанием представлена на рисунке 1.7.

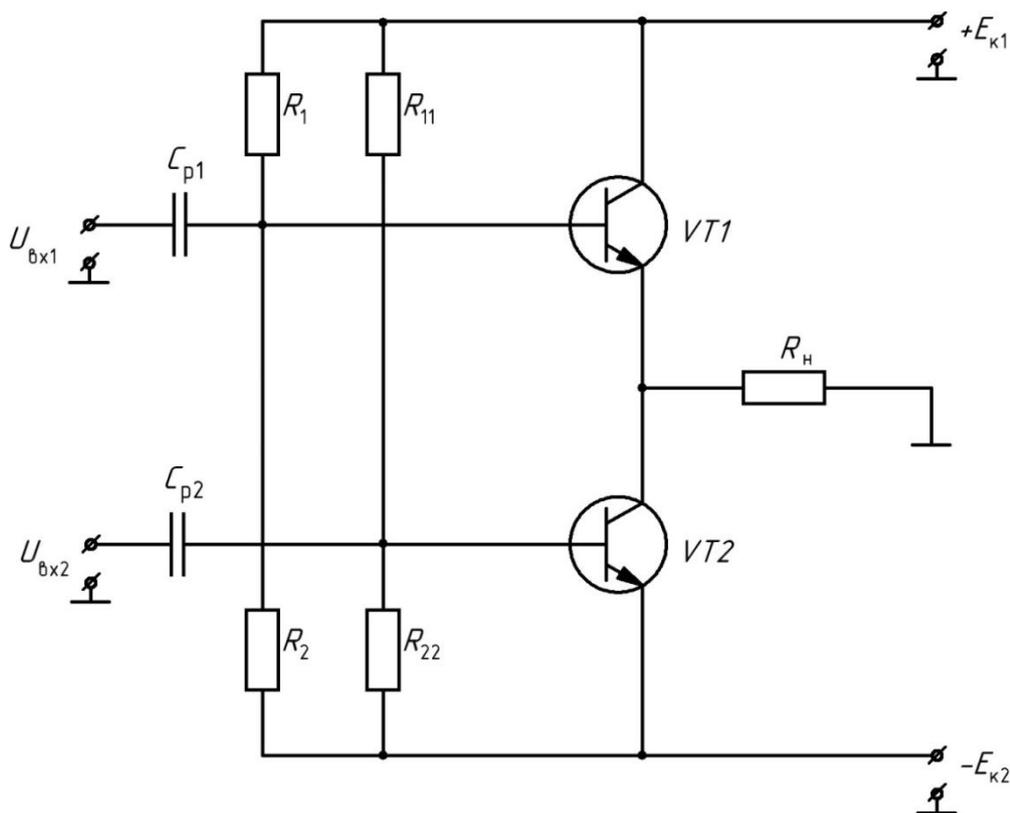


Рисунок 1.7 – БУМ на одиночных транзисторах одинакового типа проводимости с двухполярным источником питания

Схема работает точно также как схема с однополярным питанием. Важным достоинством является отсутствие разделительного конденсатора.

Однако схема имеет существенный недостаток: плечи работают по разным схемам включения, следовательно, выходное напряжение будет всегда несимметрично [18]. На практике чаще используют схему БУМ на одиночных транзисторах разного типа проводимости.

б) БУМ на одиночных транзисторах разного типа проводимости:

- с однополярным питанием и разделительным конденсатором;
- с двухполярным источником питания.

Базовая схема БУМ с разделительным конденсатором представлена на рисунке 1.8.

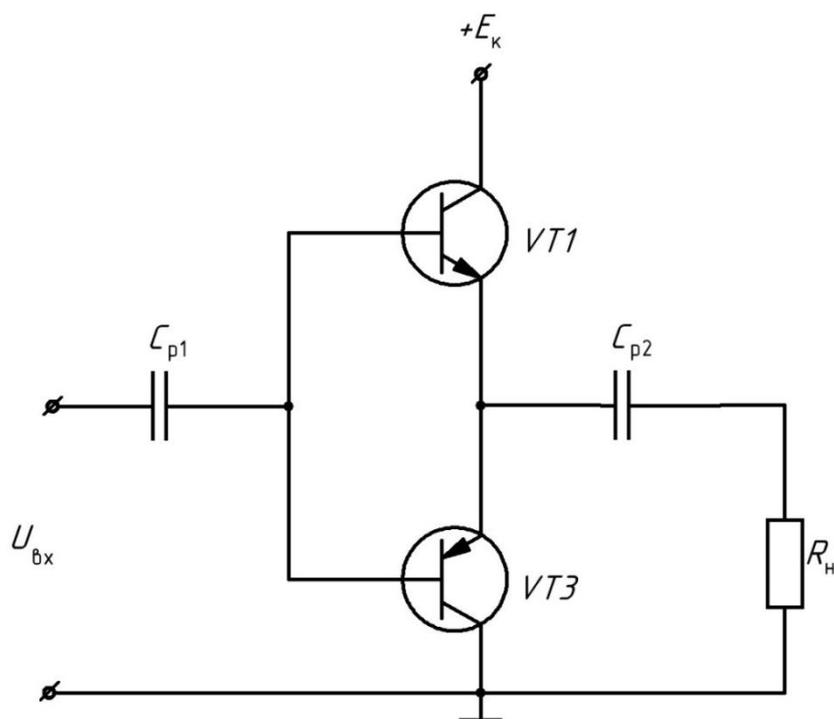


Рисунок 1.8 – БУМ на одиночных транзисторах разного типа проводимости с однополярным питанием и разделительным конденсатором

Данная схема строится на транзисторах разного типа проводимости, но с близкими параметрами. Такая пара транзисторов получила название – комплементарная пара.

Видно, что схема лишена предыдущего недостатка: схема включения обоих УЭ одинакова – ОК. Следовательно, у выходного напряжения можно наблюдать повышенную симметрию [19]. Также необходим всего один источник входного сигнала. Недостаток: наличие разделительного конденсатора.

Базовая схема БУМ с двухполярным источником питания представлена на рисунке 1.9.

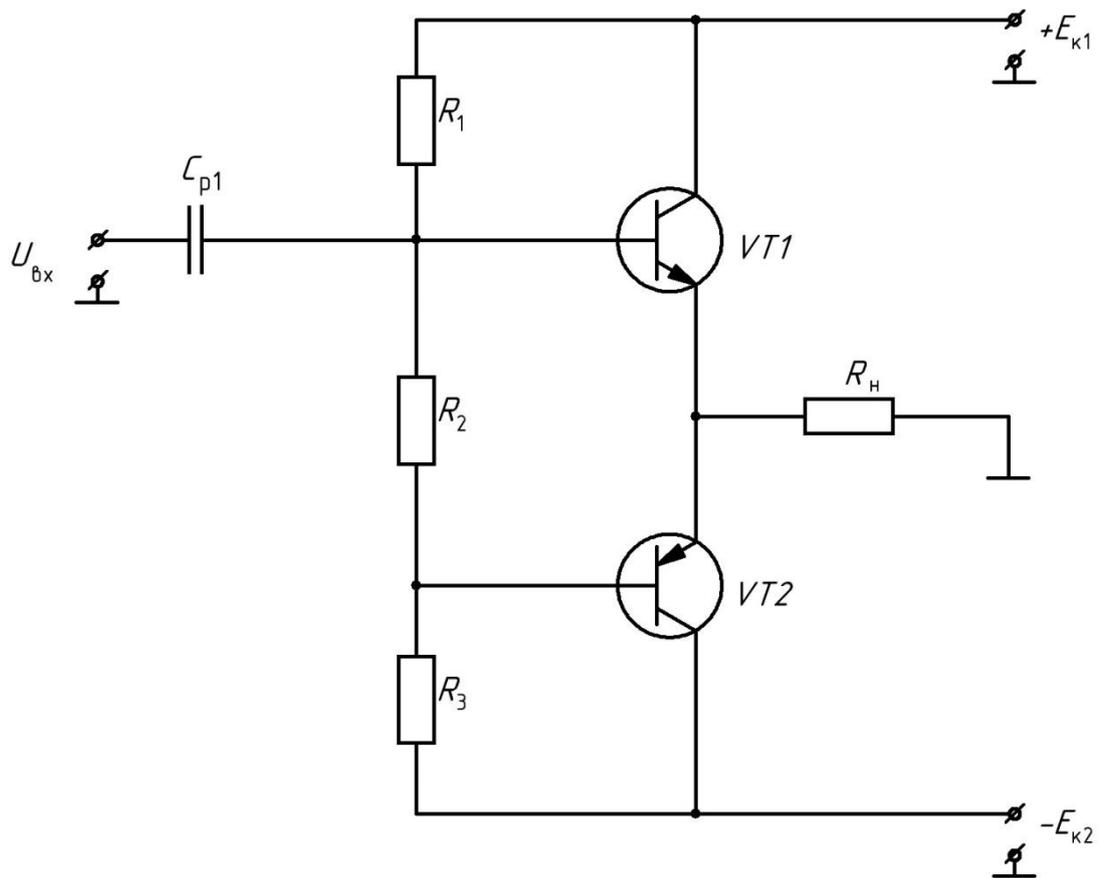


Рисунок 1.9 – БУМ на одиночных транзисторах разного типа проводимости с двухполярным источником питания

Недостатком всех рассмотренных схем является достаточно маленький K_p , определяемый только K_I . Очевидно, что для увеличения K_I необходимо брать транзисторы с большим β . Наиболее простой способ увеличить β – использование составного транзистора [20]. Составной транзистор образуется из нескольких одиночных, включенных соответственным образом для того чтобы транзистор обладал большим β . В подавляющем большинстве случаев составные транзисторы выполняют на двух одиночных [21]. Коэффициент усиления по току составного транзистора можно вычислить по формуле:

$$\beta \cong \beta_1 \cdot \beta_2. \quad (16)$$

2 Объект и методы исследования

В результате обзора литературы было решено использовать структурную схему, изображенную на рисунке 2.1.

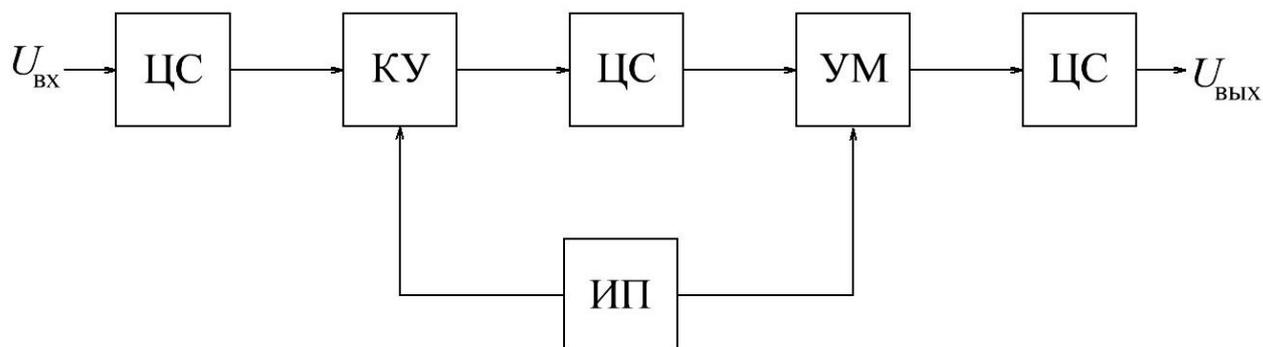


Рисунок 2.1 – Структурная схема УНЧ

ИС выдает сигнал, который поступает на первый каскад усиления. Данный каскад должен усилить входной сигнал до определенного уровня напряжения. ЦС предназначена для согласования источника сигнала и усилительного каскада. Затем усиленный сигнал через ЦС поступает на окончательный каскад – УМ, который и обеспечит в нагрузке заданную в техническом задании мощность. ИП снабжает схему энергией, а также он может служить для задания рабочей точки [22].

Приступим к выбору и обоснованию принципиальной схемы устройства.

Для выбора способа подключения нагрузки к выходу усилителя мощности необходимо провести их сравнительную характеристику. Существует два способа подключения нагрузки к выходу усилительного каскада: бестрансформаторный и трансформаторный [15]. Использование трансформатора приведет к увеличению массогабаритных параметров устройства, его стоимости. Также увеличатся нелинейные и частотные искажения в схеме [24].

Указанные недостатки привели к тому, что наиболее широко на практике применяются БУМ. В данной работе также будет использоваться БУМ.

Так как будет использоваться БУМ, то необходимо определиться с видом питания (однополярное или двухполярное). Наличие конденсатора в однополярной схеме питания негативно сказывается на массогабаритных параметрах устройства, а также происходит к увеличению частотных искажений на низких частотах. Поэтому было решено использовать двухполярный источник питания.

Приступим к выбору класса усиления УМ.

Класс усиления *A* обеспечивает минимальные нелинейные искажения выходного сигнала, но за счет резкого снижения КПД каскада.

Одним из достоинств класса *B* является высокий КПД каскада. Но нелинейные искажения выходного сигнала очень большие, так как усиливается только одна полуволна. Поэтому данный класс применяется при построении двухтактных усилителей [25].

Класс *AB* самый распространенный режим работы УМ звуковых сигналов. Смещения выбирается небольшим и одинаковым для двух УЭ [25]. Таким образом, усилительные элементы работают по очереди, что существенно снижает нелинейные искажения. КПД каскада также высок.

Класс *C* отличается высокими нелинейными искажениями.

Класс *D* максимально искажает выходной сигнал. Рабочая точка задается в области отсечки, то есть в области надежного запираения.

Проанализировав и сравнив все классы усиления, выбор пал на класс *AB*, так как именно он обеспечивает минимальные искажения выходного сигнала и имеет относительно высокий КПД.

Так как выбор пал на класс *AB*, то усилитель будет двухтактным. Следовательно, необходимо обеспечить симметричную работу плеч усилителя мощности. Значит, включение УЭ обоих плеч должны быть одинаковыми.

Включение с ОБ не используется в усилителях мощности, так как схема обеспечивает усиление только по напряжению [26], что не требуется в УМ.

Включение с ОЭ обеспечивает усиление по напряжению и по току, следовательно, коэффициент усиления по мощности достаточно высок [27]. Так

как данная работа предусматривает использование предусилительного каскада напряжения, то использование данной схемы включения не целесообразно.

Включение с ОК обеспечивает усиление только по току, что важно для УМ. Также данная схема включения обеспечивает 100%-ную ООС, что положительно сказывается на параметрах и характеристиках усилителя [28].

Таким образом, выбор пал на схему включения – ОК. Оба плеча двухтактного усилителя будут работать по схеме с ОК.

Для того чтобы увеличить коэффициент усиления по току, построим двухтактный усилитель мощности, используя схему Дарлингтона. То есть в верхнем плече будет включен $n-p-n$ транзистор, построенный по схеме Дарлингтона и в нижнем составной $p-n-p$ транзистор.

В качестве метода задания рабочей точки выберем метод фиксированного потенциала базы. Преимуществом данного метода является относительная простота [29]. Также важно то, что метод фиксированного потенциала базы обеспечивает лучшую стабильность положения рабочей точки, чем метод фиксированного тока базы.

На практике цепь смещения часто выполняют с термокомпенсацией, то есть с использованием диодов, которые задают начальное смещение эмиттерному переходу. Так как в данной работе используется усилитель мощности на составных транзисторах, то двух диодов в цепи смещения недостаточно для начального смещения двух транзисторов. Тогда увеличим количество диодов вдвое.

Принципиальная схема УМ представлена на рисунке 2.2.

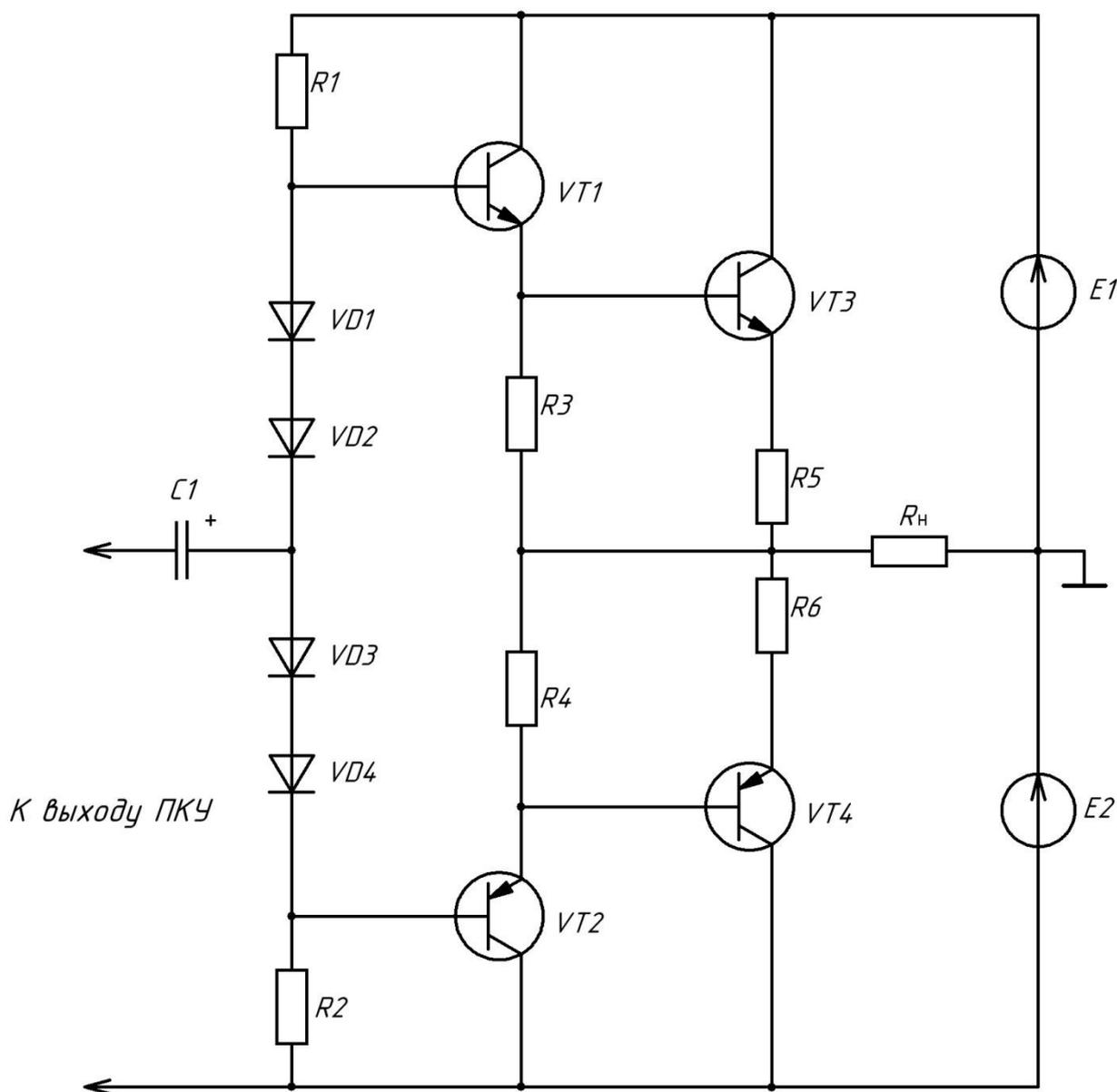


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема УМ

В цепи эмиттера каждого транзистора установлен вспомогательный резистор. Резисторы $R3$ и $R4$ устанавливаются в схему для повышения быстродействия и увеличения величины предельно допустимого значения напряжения коллектор-эмиттер транзисторов. Резисторы $R5$ и $R6$ необходимы для выравнивания плеч каскада по напряжению.

Осуществим выбор схемы включения УЭ в предусилительном каскаде. Использование схемы включения с ОК усилительного элемента в качестве предусилительного каскада нецелесообразно, так как коэффициент усиления по напряжению чуть меньше единицы [30]. Схема с ОЭ обладает большим

выходным сопротивлением, чем схема с ОБ, но меньшим, чем схема с ОК. Она обеспечивает усиление как по току, так и по напряжению. К недостаткам такой схемы включения усилительного элемента следует отнести достаточно большие нелинейные искажения, а также довольно низкий КПД [31]. В виду требуемого относительно большого коэффициента усиления по напряжению выберем схему ОЭ.

В качестве способа задания рабочей точки будет использован также метод фиксированного потенциала базы, обеспечивающий хорошую стабильность положения рабочей точки.

Также выбор пал на класс усиления A , так как именно он обеспечивает минимальные искажения выходного сигнала, что является оптимальным для данного каскада усиления.

Выберем способ стабилизации рабочей точки транзистора предусилителя. Существует два основных метода:

- а) термостабилизация;
- б) термокомпенсация.

Метод термокомпенсации заключается во включении в цепь резистивного делителя (вместо нижнего резистора делителя) термокомпенсирующего элемента, параметры которого при изменении температуры меняются таким образом, что положение рабочей точки усилительного элемента на выходных характеристиках практически не изменяется [32].

Схемы термостабилизации используются во всей серьезной аппаратуре. Все схемы стабилизации делятся на два типа:

- а) метод эмиттерной термостабилизации;
- б) метод коллекторной термостабилизации.

Метод эмиттерной термостабилизации заключается во введении в эмиттерную цепь транзистора параллельно включенных резистора и конденсатора. Резистор обеспечивает отрицательную обратную связь по постоянному току, которая положительно сказывается на стабилизации рабочей

точки [33]. Конденсатор же исключает ООС по переменному току, которая негативно сказывается на коэффициенте усиления усилителя.

В схеме коллекторной термостабилизации для смещения используется один резистор, который между коллектором и базой. Основные недостатки – уменьшение входного сопротивления и коэффициента усиления.

Для обеспечения простоты реализации и высокой стабильности положения рабочей точки было решено использовать метод эмиттерной термостабилизации.

Принципиальная схема предварительного каскада усиления представлена на рисунке 2.3.

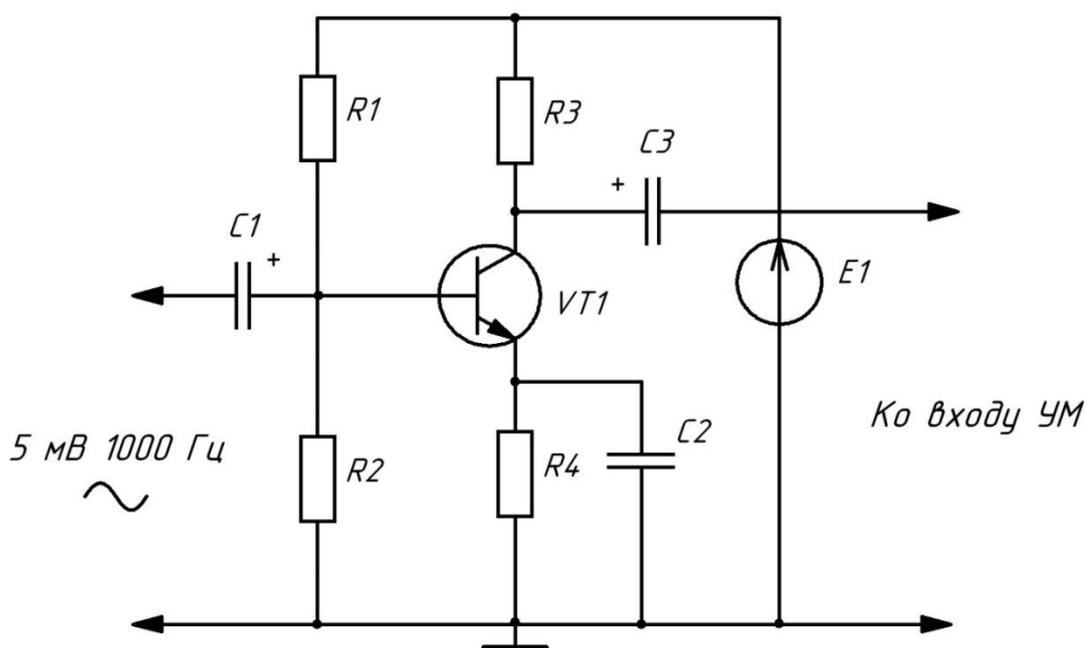


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема предварительного каскада усиления

В связи с большим значением коэффициента усиления, схеме может потребоваться несколько каскадов предварительного усиления.

Принципиальная схема устройства и перечень элементов представлены в приложении А и Б соответственно.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Развитие усилительных устройств крепко переплетено с появлением и усовершенствованием усилительных элементов – изначально ламп, позже транзисторов и интегральных схем, а так же других электронных приборов, которые могут усиливать электрические сигналы. Исходя из этого, было решено создать транзисторный усилитель звуковых частот, отвечающий современным требованиям и имеющий широкую область применения.

Целью данного раздела является оценка разрабатываемого устройства. Это позволит узнать, насколько данное устройство конкурентоспособно на рынке уже существующих усилителей.

В данном разделе будет проведен анализ эффективности устройства и его конкурентоспособности, что позволит оценить уровень его привлекательности для потенциальных потребителей. Также это позволит проанализировать затраты ресурсов на реализацию проекта и полученные результаты, его соответствия поставленным целям и ожиданиям участников.

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Без УНЧ не обходится ни одно современное электронное звуковое устройство, взаимодействующее с человеком. Он может быть выполнен в виде самостоятельного устройства, или использоваться в составе более сложных устройств – телевизоров, музыкальных центров, активных акустических систем, радиоприёмников, радиопередатчиков, радиостанций и т. д. Кроме

этого УНЧ используются для усиления информационного сигнала в различных сферах: измерительной технике и дефектоскопии; автоматике, телемеханике и аналоговой вычислительной технике.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст; пол; национальность; образование; уровень дохода; социальная принадлежность; профессия и др.

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка. В таблице 5.1 приведена карта сегментирования рынка для разрабатываемого усилителя низких частот.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

Потребитель \ Форма выпуска	Единичный экземпляр	Партия
Мелкие предприятия	Да	Нет
Средние предприятия	Да	Нет
Крупные предприятия	Да	Да

Из полученной карты сегментирования рынка видно, что потенциальными потребителями разрабатываемого устройства будут являться организации с различным масштабом производства. Наибольший потенциальный спрос наблюдается при выпуске единичных экземпляров транзисторного усилителя, что повышает конкуренцию предприятий на получение готовых устройств. Лишь крупные предприятия потенциально способны на заказ целой партии устройства, что при данной форме выпуска устройства делает предприятия такого типа основным сегментом рынка для реализации готового продукта. При единичной же форме выпуска реализация

возможна среди большего количества предприятий, что делает такой вариант формы выпуска устройства наиболее благоприятным.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в приложении К. В таблице К.1 сравнивается транзисторный УНЧ с ламповым УНЧ (первый конкурент) и УНЧ на операционных усилителях (второй конкурент).

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i, \quad (226)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

После проведения данного анализа можно сделать вывод, что данная разработка является конкурентоспособной даже по сравнению с самыми популярными устройствами на рынке музыкальной аппаратуры. Основными конкурентными преимуществами данной разработки являются более низкая по сравнению с конкурентами цена и удобство в эксплуатации.

Критерием, который существенно снижает конкурентоспособность разрабатываемого звукового преобразователя, является простота обслуживания (настройки).

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в приложении Л таблице Л.1.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности» представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и возможности»

		Сильные стороны				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	+	0	0	+
	B2	+	-	-	-	0
	B3	0	0	0	0	+
	B4	+	0	-	0	0
	B5	-	-	+	+	0

Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности» представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	V1	-	-	+	-	-
	V2	+	-	+	-	-
	V3	+	0	+	0	0
	V4	+	0	-	-	-
	V5	-	+	-	-	+

Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы» представлена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Интерактивная матрица «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны						
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	0	+	0	+
	У2	+	-	-	-	0
	У3	+	+	0	+	+
	У4	-	-	-	-	+
	У5	0	-	-	-	+

Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы» представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны						
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	0
	У2	+	-	+	-	-
	У3	0	+	+	-	-
	У4	+	0	-	+	0
	У5	+	-	+	-	-

Таким образом, в рамках третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица Л.2).

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном случае в рабочую группу для выполнения научных исследований входят научный руководитель и инженер. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в приложении М таблице М.1.

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (227)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (228)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (229)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (230)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48. \quad (231)$$

Все рассчитанные значения сведены в приложение Н в таблицу Н.1.

Исполнителями проекта выступают научный руководитель (Р) и инженер (И).

На основе таблицы Н.1 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. График приведен в приложении П в таблице П.1.

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование для научно-экспериментальных работ;

- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Материальные затраты данного НТИ представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
			Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Резисторы SMD	шт	14	2	2	28	28
Резисторы переменные	шт	2	50	70	100	140
Резистор переменный с антилогарифм. характеристикой	шт	1	330	530	330	530
Конденсаторы электролитические	шт	2	31	45	62	90
Конденсаторы керамические	шт	7	2	2	14	14
Транзисторы BD139, BD140	шт	2	13	13	26	26
Транзисторы TIP2955, TIP3055	шт	2	60	74	120	148
Транзистор 2SC2655	шт	2	17	17	34	34
Диод 1N3494	шт	4	6	6	24	24
Разъемы PLS	шт	20	0,5	1	10	20
Стеклотекстолит (50x70 мм)	шт	1	40	40	40	40
Канифоль	шт	1	120	120	120	120
Припой	шт	1	230	250	230	250
Флюс	шт	1	190	190	190	190
Итого:					1328	1654

В статью затрат на специальное оборудование включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборуд.	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Осциллограф двухканальный GOS-620	1	40,25	40,25
2	Вольтметр универсальный цифровой В7-22В	1	12	12
3	Многофункциональный генератор АКИП-3408/1	1	20,475	20,475
4	Паяльная станция Lukey 868	1	5,28	5,28
5	Лабораторный источник питания EA-PS 2084-03 В	1	29,01	29,01
6	Ноутбук ASUS VivoBook K540BA-DM615 черный	1	19,5	19,5
Сумма, руб				126515
Доставка и монтаж (15% от общей суммы), руб				18977,3
Итого по статье, руб				145492,3

В статью по основной заработной плате исполнителей включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно

участвующих в выполнении работ по проекту. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (232)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) исполнителя проекта (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (233)$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (234)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (235)$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC});

k_d – коэффициент доплат и надбавок 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{TC});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{TC} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Доцент, кандидат наук (руководитель)	35120	0,3	0,2	1,3	68484	3579,06	8,5	30422,01
Инженер	17890	0,3	0,2	1,3	34885,50	1823,16	76,1	138742,48

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (236)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

В таблице 5.10 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы. Примем дополнительную зарплату как 12 % от основной зарплаты.

Таблица 5.10 – Заработная плата исполнителей

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	30422,01	138742,48
Дополнительная зарплата	3650,64	16649,10
Зарплата исполнителя	34072,65	155391,58
Итого по статье С _{зп}	189464,23	

В статье отчисления во внебюджетные фонды отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (237)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	30422,01	3650,64
Инженер	138742,48	16649,10
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого:	51344,81	

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (238)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (возьмем 16%).

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл исп.1}} &= 0,16 \cdot (1328 + 145492,3 + 189464,23 + 51344,81) = \\ &= 62020,69 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (239)$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл исп.2}} &= 0,16 \cdot (1654 + 145492,3 + 189464,23 + 51344,81) = \\ &= 62072,85 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (240)$$

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	1328	1654	таблица 4.6
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	145492,3	145492,3	таблица 4.7
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	169164,49	169164,49	таблица 4.9

Продолжение таблицы 5.12

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20299,74	20299,74	таблица 4.10
5. Отчисления во внебюджетные фонды	51344,81	51344,81	таблица 4.11
6. Накладные расходы	62020,69	62072,85	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	449650,03	450028,19	Сумма ст. 1-6

5.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (241)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ri} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Максимальная стоимость составляет 450028,19 рублей для исполнения 2, следовательно, имеем:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{449650,03 \text{ руб}}{450028,19 \text{ руб}} = 0,99; \quad (242)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{450028,19 \text{ руб}}{450028,19 \text{ руб}} = 1. \quad (243)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (244)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки;

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Соотношение сигнал/шум	0,1	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	1
3. Качество звучания	0,2	4	5
4. Надежность	0,1	4	3
5. Помехозащищенность	0,05	4	4
6. Простота обслуживания (настройка звучания)	0,1	3	3
7. Цена	0,15	4	2
8. Конкуренентоспособность продукта	0,07	5	2
9. Уровень проникновения на рынок	0,03	4	2
10. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3
Итого:	1	4,07	3,1

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр}}, I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}}. \quad (245)$$

Интегральные показатели эффективности вариантов исполнения разработки для исполнений в данном проекте составят:

$$I_{исп.1} = \frac{4,07}{0,99} = 4,11; \quad (246)$$

$$I_{исп.2} = \frac{3,1}{1} = 3,1. \quad (247)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 5.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (248)$$

Таблица 5.14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,07	3,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,11	3,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,33	0,75

Таким образом, сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что предпочтительным для данного проекта является первый вариант исполнения, так как данный вариант исполнения является наиболее экономичным и ресурсоэффективным.

5.4 Выводы

В рамках данного раздела ВКР была проведена оценка конкурентоспособности транзисторного усилителя низких частот по сравнению с другими схемными реализациями данного устройства. Был рассчитан показатель, оценивающий перспективность данной технологии, который определяет уровень перспективности как «выше среднего».

Также был составлен перечень этапов работ и определена их трудоемкость. Календарный план дал четкое понимание о длительности этапов, и какие ресурсы необходимо привлечь для выполнения проекта в срок. Календарное планирование позволило выстроить оптимальный план график проекта с оптимальными сроками для всех участников.

Рассчитан ориентировочный бюджет на создание научной разработки, а также проведена оценка эффективности научного исследования с позиции ресурсосбережения и сравнительная эффективность разработки. Было проанализировано два варианта исполнения устройства и выбран наиболее экономичный. Затраты на разработку данного устройства составят 449650,03 руб. Основные расчетные показатели экономической эффективности говорят о том, что устройство обладает высокой экономической эффективностью.

6 Социальная ответственность

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ, N 197-ФЗ работник аудитории 324, корпуса 16В ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

Рабочее место должно соответствовать требованиям, указанным в ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя».

Рабочее место должно занимать площадь не менее 4,5 м², высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 905 мм, что обусловлено тонкостью выполняемой работы (монтаж мелких деталей).

Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм.

При работе за ПК удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами и экраном монитором должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Проанализировав вышеперечисленные требования, можно сделать вывод о том, что рабочее место сотрудника аудитории 324, 16В корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

6.2 Производственная безопасность

Проектируемый усилитель предполагает использование паяльной станции, которая необходима для установки электронных компонентов на печатную плату. Кроме этого, в процессе расчетов необходимо воспользоваться ЭВМ для симуляции работы устройства, а также для выполнения расчетной части. Необходимо рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при использовании ЭВМ или работе с оборудованием, а также требования по организации рабочего места.

Перечень опасных и вредных факторов представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Нестабильность микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016, СанПиН 1.2.3685-21
Повышенный уровень шума на рабочем месте	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96

Продолжение таблицы 6.1

Вредные вещества		+		ГОСТ 12.1.007-76, ГОСТ 12.1.005-88
Психофизические факторы (перенапряжение органов, умственное перенапряжение)	+	+		ГОСТ 12.0.003-2015
Опасность поражения электрическим током		+	+	ГОСТ 12.1.019-2017, ГОСТ Р 50571.3-2009
Короткое замыкание		+	+	ГОСТ 12.1.038-82
Статическое электричество		+	+	ГОСТ 12.1.045-84
Пожароопасность	+	+	+	СП 484.1311500.2020
Термическая опасность		+		ГОСТ 12.3.004-75

Проведем анализ выявленных вредных и опасных факторов:

а) нестабильность микроклимата

Микроклимат производственного помещения оказывает существенное влияние на здоровье и работоспособность человека. К показателям, характеризующим микроклимат рабочей зоны, относят следующие:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздушных масс.

Ненормированная температура или влажность воздуха могут быть вызваны некорректной эксплуатацией отопительных приборов или неправильной подготовкой помещений к различным погодным сезонам. Эти факторы могут привести к отклонению приемлемых показателей температуры, влажности, скорости движения воздушных масс в помещении и, как следствие, к различным простудным заболеваниям с дальнейшим снижением трудоспособности.

Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений для категории работ 1б согласно СанПиН 2.2.4.548-96 представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Оптимальные показатели микроклимата производственных помещений для категории работ 1б

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздушных масс, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

Проанализировав вышеперечисленные требования, можно сделать вывод о том, что рабочее место сотрудника аудитории 324, 16В корпуса ТПУ соответствует требованиям СанПиН 2.2.4.548-96.

б) недостаточная освещенность рабочей зоны

Работа при плохом освещении или его низких уровнях может повлечь за собой усталость глаз и переутомление, ведущие к снижению общей работоспособности человека. С позиций безопасности труда зрительный комфорт чрезвычайно важен. Часть несчастных случаев на рабочих местах происходит по причине неудовлетворительной освещённости рабочего пространства, вследствие которой рабочий может допускать ошибки при распознавании предметов.

На практике применяются два вида освещения: естественное и искусственное. Они подразделяются на естественное боковое, искусственное рабочее, а также комбинированное, состоящее из местного освещения рабочих мест и общего освещения помещения. Данные виды освещения нормируются СП 52.13330.2016.

В аудитории 324, 16В корпуса ТПУ имеется естественное боковое одностороннее освещение, а также искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы мониторы ПК были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Для рабочего места с паяльной станцией предусмотрено отдельное искусственное освещение.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, норма коэффициента естественной освещённости при боковом освещении – 0,6%. Для искусственного освещения коэффициент пульсации освещённости не должен превышать 15%.

В лаборатории проводятся работы средней точности с наименьшим размером объекта различения более 0,5 мм. Разряд зрительной работы – IV, подразряд – В. Освещённость рабочей области от систем общего освещения должна составлять 200 лк.

Рабочее место сотрудника аудитории 324, 16В корпуса ТПУ соответствует предъявленным требованиям.

в) повышенный уровень шума на рабочем месте

Предельно допустимый уровень звука по СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки» приведен в таблице 6.3 и 6.4.

Таблица 6.3 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творческая деятельность, научная деятельность, программирование, врачебная деятельность	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблица 6.4 – Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)	Максимальные уровни звука L _{Amax} , дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Учебные кабинеты, аудитории учебных заведений, читальные залы библиотек	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	5

На рабочем месте основными источниками шума являются вычислительные машины, система вентиляции и кондиционирования воздуха. Исходя из технической документации оборудования в помещении, можно сделать вывод, что шумовая обстановка соответствует норме.

г) вредные вещества

При сборке макета устройства предусмотрены паяльные работы с использованием флюса и припоя. При пайке, обжиге изоляции и лужении контактов выделяются вредные вещества. В таблице 6.5 представлены значения ПДК выделяющихся при паяльных работах вредных веществ в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 6.5 – Предельно допустимые концентрации вредных веществ

	Вещества (составы)	Класс опасности	ПДК в воздухе, мг/м ³
Припой	ПОС-40	1	0,01
Компоненты флюса	Бензин	4	100
	Этилацетат	4	200
Газы	Окись углерода	4	20
	Окись азота	2	5
	углеводороды	4	300

Помещение лаборатории хорошо проветривается, оборудовано специальной вытяжкой, включаемой при проведении паяльных работ. Это факторы делают влияние испарений вредных веществ на человека незначительным, и влияние этих факторов не превышает заявленной нормы.

д) психофизические факторы

К основным психофизическим факторам можно отнести перенапряжение органов зрения (в процессе построений моделей, оформления расчетной части), умственное перенапряжение. Также длительный труд в таких условиях может вызвать быструю утомляемость, снижение работоспособности, расстройства нервной системы, неприятные и болезненные ощущения в глазах.

Фиксированная рабочая поза вызывает нарушение кровоснабжения в нижних конечностях и органах тазовой области, приводящие к профессиональным заболеваниям. При вынужденном сидячем образе жизни могут возникать сколиозы, остеохондрозы, кифозы.

При проектировании рабочего места необходимо стремиться к тому, чтобы рабочая поза была как можно ближе к естественной позе человека. Поэтому стоит предусматривать выполнение работы как стоя, так и сидя. Особого отношения требует разработка кресел для людей, которые постоянно выполняют работу сидя за ПК. Спинка кресла должна максимально эффективно распределять давление тела, и это достигается при соответствии конструкции кресла анатомическому строению человека.

В процессе работы с ПК необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха, иначе у персонала отмечаются значительное перенапряжение зрительного аппарата, которые приводят к головным болям, усталости, болезненных ощущений в глазах.

Рабочее место разработчика полностью соответствует требованиям по сохранению нормального психофизического состояния человека.

е) опасность поражения электрическим током

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия:

- оформление работы нарядом или устным распоряжением;
- проведение инструктажей и допуск к работе;
- надзор во время работы.

Одним из опасных факторов при использовании электрических приборов является короткое замыкание (КЗ). В большинстве случаев, короткое замыкание возникает из-за повреждения изоляции токоведущих частей. Ток короткого замыкания во много раз превышает ток при нормальной работе оборудования. Возможными последствиями такого замыкания могут быть:

- перегрев токоведущих частей;
- чрезмерные динамические нагрузки;
- прекращение подачи электрической энергии потребителям;
- нарушение нормального функционирования других взаимосвязанных приемников, которые подключены к исправным участкам цепи, из-за резкого снижения напряжения;
- расстройство системы электроснабжения.

Наиболее простым способом защиты от короткого замыкания является установка плавких предохранителей, которые перегорают от нагревания вследствие превышения тока определенной величины. Также в качестве защиты, рекомендуется использовать электрические автоматы, которые при превышении тока определенной величины разрывает контакт, а возникающую электрическую дугу гасит в дугогасящей камере.

Токи статического электричества, наведенные в процессе работы компьютера на корпусах монитора, системного блока, клавиатуры, а также при работе за паяльной станцией, могут приводить к разрядам при прикосновении к этим элементам. Такие разряды опасности для человека не представляют, но могут привести к выходу из строя выше описанного оборудования.

Для защиты от воздействия статического электричества на рабочем месте используются следующие методы: влажная уборка, чтобы уменьшить количество пылинок в воздухе и на предметах; использование увлажнителей воздуха; защитное заземление; применение средств индивидуальной защиты, таких как антистатические спреи и браслеты.

По опасности поражения электрическим током аудитория относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%).

Все требуемые средства, имеющиеся на рабочем месте, и применяемые меры защиты соответствуют требованиям ГОСТ 12.1.019-2017. При работе используется инструмент с изолированными ручками, изоляция токоведущих частей не нарушена. Для предотвращения поражения электрическим током в аудитории 324, 16В корпуса ТПУ, оборудование оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

ж) пожароопасность

В помещении лаборатории преимущественно проводятся работы, сопровождающиеся обработкой негорючих веществ и материалов в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, что относит его к классу пожароопасности Г (ГОСТ 12.1.004-91).

В лаборатории соблюдаются следующие нормы пожарной безопасности:

- для предохранения сети от перегрузок запрещено включать дополнительные, не предусмотренные потребители;
- работы в лаборатории проводятся только при исправном состоянии оборудования и электропроводки;
- в лаборатории имеются средства пожаротушения (огнетушитель);
- в лаборатории имеется план эвакуации людей, висящий на видном месте;

– исключены загромождения оборудованием лаборатории и мебелью прохода к выходу.

В здании, где находится рабочее место, соблюдены требования пожаробезопасности, имеются средства пожаротушения.

и) термическая опасность

Источником воздействия этого фактора становится работа с паяльной станцией в процессе сборки устройства. Воздействие данного фактора на человека может быть выражено возникновением ожогов вплоть до 4, самой высшей, степени тяжести.

К выполнению работ по пайке паяльником допускаются работники в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие обучение, инструктаж и проверку знаний по охране труда и пожарной безопасности, освоившие безопасные методы и приемы выполнения работ, методы и приемы правильного обращения с приспособлениями, инструментами и грузами. Работники, выполняющие пайку паяльником, имеют II группу по электробезопасности.

Работники, занятые пайкой паяльником, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты. Рабочий снабжается защитными очками, рукавицами и фартуком, что является основной мерой безопасности и предотвращения термических и химических ожогов при попадании расплавленного металла или флюса на кожу.

6.3 Экологическая безопасность

Количество вредных веществ, выделяемых при работах по монтажу РЭА, не превышает установленных норм. Из рабочего помещения эти вещества удаляются при помощи вентиляционной вытяжной системы с фильтрацией.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 55102-2012. Устройство, вышедшее из эксплуатации согласно ГОСТ Р 55102-2012 должно пройти следующие стадии: сбор, хранение, транспортирование и разборка ОЭЭО (отработавшее

электротехническое и электронное оборудование). Приоритетом разборки является обеспечение возможности повторного использования ОЭЭО для первоначальных и иных целей после дополнительной обработки.

Бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов, пищевые отходы) после предварительной сортировки складывают в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с ГОСТ Р 52105-2003. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. После поломки их корпуса в атмосферу выделяются вредные пары ртути. Поэтому их, как и компьютеры, и другие электронные приборы, нужно сдавать на предприятия для переработки и утилизации. В настоящее время есть много фирм, предлагающие свои услуги по организации вывоза из квартир и утилизации отходов.

В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцовокислого калия.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В соответствии с ГОСТ Р 22.0.02-2016, ЧС – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью

людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Наиболее вероятный вид ЧС – пожары. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара могут быть:

- неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования;

- электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов;

- перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в соответствующих местах);

- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;

- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 или 101 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется

первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

В корпусе 16В ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения возгорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации, который размещен на каждом этаже корпуса и на дверях аудиторий.

6.5 Выводы

В ходе работы были исследованы вопросы обеспечения нормативных условий труда (санитарно-гигиенические условия, защита от опасных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности и т.п.) в соответствии с действующими нормативными документами. Были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергаться человек в процессе данной работы. Среди данных факторов можно выделить уровень освещенности, шум, показатели микроклимата, умственное перенапряжение, воздействие вредных веществ и другие.

Были выявлены предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате разработки и реализации, предлагаемого в ВКР решения, а также предложены методы борьбы с данными неблагоприятными воздействиями. Также были разработаны меры по предупреждению возникновения пожаров и порядок действий в результате возникновения ЧС и меры по ликвидации её последствий.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована и исследована схема усилителя низких частот для электропроигрывающего устройства. В ее состав входит два предусилительных каскада, обеспечивающих предварительное усиление входного сигнала, а также усилитель мощности, который обеспечивают заданную мощность в нагрузке – колонке. Также схема снабжена регулятором громкости на основе переменного резистора с обратно логарифмической характеристикой.

Расчёты показали, что при данных значениях токов и напряжений транзисторов в статическом режиме, выходной сигнал при использовании заданных координат рабочей точки транзистора практически не будет претерпевать нелинейных искажений. Коэффициент нелинейных искажений выходного сигнала при максимальном значении входного сигнала в среде MultiSim составил 1,058%, что является допустимым значением для звуковой аппаратуры среднего класса воспроизведения звука.

В схему был введен механизм эмиттерной термостабилизации, благодаря которому улучшилась стабилизация положения рабочей точки.

Благодаря введенной в схему отрицательной обратной связи по напряжению улучшилось качество выходного сигнала, уменьшились нелинейные искажения, а также увеличилось входное сопротивление каскадов, что является достоинством.

Полоса пропускания усилителя составила от 9 Гц до 152 кГц, что удовлетворяет техническому заданию.

Также была изготовлена печатная плата в программе Altium Designer для оконечного каскада – усилителя мощности. Было проведено исследование данной схемы, сняты основные осциллограммы напряжений, а также нагрузочная, амплитудная характеристики и АЧХ, ФЧХ.

Погрешности, полученные при сравнении основных расчетных параметров усилителя и экспериментальных, показали, что приведенные

расчеты верны. Максимальная погрешность измерения основных параметров усилителя не превышает 3,2 % для худшего случая, что является допустимой величиной в инженерной практике.

Список использованных источников

1. Чудновский, И.Я. Электронные и транзисторные усилители низкой частоты : учеб. пособие. – Москва : Искусство, 1968. – 407 с.: ил.
2. Королев, Г.В. Электронные устройства автоматики : учеб. пособие. – М. : Высш. школа, 1983. – 255 с.: ил.
3. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника : учебник. – М. : Высш. школа, 1982. – 496 с.: ил.
4. Гершунский, Б.С. Основы электроники : учебник. – Киев : Вища школа, 1977. – 343 с.: ил.
5. Ежков, Ю.С. Справочник по схемотехнике усилителей. – 2-е изд., перераб.. – М : РадиоСофт, 2002. – 272 с.: ил.
6. Богданович, Б.М. Нелинейные искажения в приемно-усилительных устройствах / Б. М. Богданович. – М. : Связь, 1980. – 279 с.: ил.
7. Шиповский, А.Н. Высококачественные усилители низкой частоты. – Москва; Ленинград : Госэнергоиздат, 1952. – 120 с.
8. Виноградов, Ю.В. Основы электронной и полупроводниковой техники. – 2-е изд., доп. – Москва : Энергия, 1972. – 535 с.
9. Хвиливицкий, С.И. Расчет и проектирование усилителей низкой частоты : учеб. пособие / С. И. Хвиливицкий, Л. В. Медякова. – Москва : Искусство, 1958. – 316 с.
10. Попов, П.А. Обратная связь в транзисторных усилителях. – М. : Энергия, 1969. – 64 с.
11. Серегин, Б.А. Обратная связь в усилителях / Б. А. Серегин. – М. : Радио и связь, 1983. – 97 с.: ил.
12. Боде, Г. Теория цепей и проектирование усилителей с обратной связью / Г. Боде ; перевод с английского А. А. Колосова и Л. А. Мееровича. – Москва : Гос. изд-во иностр. лит., 1948. – 642 с.

13. Воробьева, Е.Ф. Обратные связи в радиоэлектронных устройствах : учеб. пособие; – М. : М-во образования Рос. Федерации. Моск. гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики, 2000. – 79 с.
14. Варакин, Л.Е. Бестрансформаторные усилители мощности : справочник. – Москва : Радио и связь, 1984. – 128 с.: ил.
15. Ремез, Г.А. Трансформаторные усилители низкой частоты: описание учеб. работ, поставленных ст. инж. Г. А. Ремез и INSTR. Корчагиным / Сост. Г. А. Ремез и Корчагиным; Под ред. В. К. Виторского и Д. А. Конашинского. – Москва : [Ред.-изд. сектор ИТАС], 1934. – 20 с.
16. Кляровский, В. А. 500 схем для радиолюбителей. Усилители мощности любительских радиостанций / В. А. Кляровский. – Санкт-Петербург : Наука и Техника (НИТ), 2008. – 225 с.: ил.
17. Синельников, А.Х. Бестрансформаторные транзисторные усилители низкой частоты. – Москва : Энергия, 1969. – 55 с.: ил.
18. Богачев, В.М. Транзисторные усилители мощности. – Москва : Энергия, 1978. – 343 с.: ил.
19. Воробьев, М.С. Транзисторные усилители мощности : учеб. пособие / М. С. Воробьев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 67 с.
20. Кобакин, В.М. Основы теории и расчета транзисторных низкочастотных усилителей мощности. – М. : Радио и связь, 1988. – 239 с.
21. Штерк, М.Д. Схемы, параметры, свойства и возможности составных транзисторов : Ч. 1 / Артиллер. радиотехн. ордена Отечеств. войны акад. Советской Армии им. Маршала Советского Союза Говорова Л.А. – Москва : Б. и., 1966. – 191 с.
22. Фомичев, Ю.М. Электроника. Элементная база, аналоговые и цифровые функциональные устройства : учеб. пособие / Ю. М. Фомичев, В. М. Сергеев; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 275 с.

23. Яныгин, Б.Г. Проектирование трансформаторов: учеб. пособие / Б. Г. Яныгин. – Красноярск : КПИ, 1983. – 97 с.: ил.
24. Стародубцев, Ю.Н. Теория и расчёт трансформаторов малой мощности. – М. : Изд. предприятие РадиоСофт, 2005 (ГУП Чехов. полигр. комб.). – 318 с. : ил., табл.
25. Лачин, В.И. Электроника : учеб. пособие / В. И. Лачин, Н. С. Савёлов. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 703 с.
26. Остапенко, Г.С. Усилительные устройства : учебник. – М. : Радио и связь, 1989. – 400 с.
27. Исследование усилительных каскадов на биполярных транзисторах: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсам «Схемотехника», «Электроника» для студентов III курса, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника», 201000 «Биотехнические системы и технологии». Сост. Е.В. Ярославцев; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 32 с.
28. Горбачев, Г.Н. Промышленная электроника: учебник / Г. Н. Горбачев, Е. Е. Чаплыгин. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
29. Миловзоров, О.В. Электроника : учебник / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – 5-е изд. – Москва : Юрайт, 2013.
30. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – М. : КНОРУС, 2013. – 800 с.: ил.
31. Красов, Ю.С. Входные каскады высококачественных усилителей низкой частоты. – М. : Радио и связь, 1982. – 32 с.
32. Селиванова, З.М. Схемотехника электронных средств : учеб. пособие / З. М. Селиванова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 136 с.
33. Вапнэ, Г.М. Термостабилизация транзисторных устройств / Г. М. Вапнэ, П. И. Шаповаленко. – Москва : Б. и., 1965. – 45 с.

34. Найвелът, Г.С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: справочник / Г. С. Найвелът, К. Б. Мазель, Ч. И. Хусаинов [и др.]. – М. : Радио и связь, 1985. – 576 с., ил.
35. TIP2955, TIP3055 – STMicroelectronics: сайт. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/829/DOC004829689.pdf> (дата обращения: 15.04.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
36. BD139, BD140 – STMicroelectronics: сайт. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/2307016.pdf> (дата обращения: 16.04.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
37. Селф, Д. Проектирование усилителей мощности звуковой частоты : учеб. пособие / Дуглас Селф. – 3-е изд. – Москва : ДМК Пресс, 2008. – 528 с.: ил.
38. Резисторы: справочник / В. В. Дубровский и др.; Под общ. ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
39. 1N5391: сайт. – URL: <https://www.vishay.com/docs/88514/1n5391.pdf> (дата обращения: 20.04.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
40. Справочник по электрическим конденсаторам. Под ред. И. И. Четверткова и В. Ф. Смирнова. – М. : Радио и связь, 1983. – 576 с.
41. 2SC2655 – Toshiba: сайт. – URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/30120/TOSHIBA/2SC2655.html> (дата обращения: 02.05.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
42. C50K – Mouser Electronics: сайт. – URL: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/13/V16AF-1522343.pdf> (дата обращения: 05.05.2021). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

Приложение В
(справочное)

Параметры транзисторов ТІР3055 и ТІР2955

Таблица В.1 – Параметры ТІР3055 и ТІР2955

Символ	Параметр	Значение			Единицы измерения
		Мин.	Тип.	Макс.	
$U_{кэнас}$	Напряжение насыщения коллектор-эмиттер	–	–	1,1	В
β	Статический коэффициент передачи тока в схеме ОЭ	20	–	100	–
$I_{кmax}$	Максимально допустимый постоянный ток коллектора	–	–	15	А
$P_{кmax}$	Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора без теплоотвода	–	–	90	Вт
$U_{кэmax}$	Максимальное напряжение коллектор-эмиттер при заданном токе коллектора и разомкнутой цепи базы	–	–	60	В
$U_{бэmax}$	Максимальное напряжение база-эмиттер	–	–	1,8	В
T_{oc}	Температура окружающей среды	-65	–	150	°С
f_{β}	Предельная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ	2,5	–	–	МГц

Приложение Г
(справочное)

Параметры транзисторов BD139 и BD140

Таблица Г.1 – Параметры BD139 и BD140

Символ	Параметр	Значение			Единицы измерения
		Мин.	Тип.	Макс.	
$U_{кэ\text{нас}}$	Напряжение насыщения коллектор-эмиттер	–	–	0,5	В
β	Статический коэффициент передачи тока в схеме ОЭ	40	–	250	–
$I_{к\text{max}}$	Максимально допустимый постоянный ток коллектора	–	–	1,5	А
$P_{к\text{max}}$	Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора	–	–	12,5	Вт
$U_{кэ\text{max}}$	Максимальное напряжение коллектор-эмиттер при заданном токе коллектора и разомкнутой цепи базы	–	–	80	В
$U_{бэ\text{max}}$	Максимальное напряжение база-эмиттер	–	–	5	В
T_{oc}	Температура окружающей среды	-65	–	150	°С
f_{β}	Предельная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ	3	–	–	МГц

**Приложение Д
(справочное)**

Параметры транзистора 2SC2655

Таблица Д.1 – Параметры транзистора 2SC2655

Символ	Параметр	Значение			Единицы измерения
		Мин.	Тип.	Макс.	
$U_{кэнас}$	Напряжение насыщения коллектор-эмиттер	–	–	0,5	В
β	Статический коэффициент передачи тока в схеме ОЭ	70	–	240	–
$I_{кmax}$	Максимально допустимый постоянный ток коллектора	–	–	2	А
$P_{кmax}$	Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора без теплоотвода	–	–	0,9	Вт
$U_{кэmax}$	Максимальное напряжение коллектор-эмиттер при заданном токе коллектора и разомкнутой цепи базы	–	–	50	В
$U_{бэmax}$	Максимальное напряжение база-эмиттер	–	–	5	В
T_{oc}	Температура окружающей среды	-55	–	150	°С
f_{β}	Предельная частота коэффициента передачи тока в схеме с ОЭ	5	–	–	МГц

**Приложение К
(обязательное)**

Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Таблица К.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии обогащаемого материала							
1. Соотношение сигнал/шум	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	1	5	0,5	0,1	0,5
3. Качество звучания	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
4. Надежность	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
5. Помехозащищенность	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
6. Простота обслуживания (настройка звучания)	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
7. Цена	0,15	4	2	4	0,6	0,3	0,6
8. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	2	5	0,35	0,14	0,35
9. Уровень проникновения на рынок	0,03	4	2	5	0,12	0,06	0,15
10. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Итого:	1	41	29	47	4,07	3,1	4,05

Приложение Л (обязательное)

SWOT-анализ

Таблица Л.1 – Первый этап SWOT-анализа

	<p style="text-align: center;">Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p style="text-align: center;">С1. Дешевизна С2. Минимальные нелинейные искажения С3. Удобство в эксплуатации С4. Относительно небольшие массогабаритные параметры С5. Долговечность устройства</p>	<p style="text-align: center;">Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p style="text-align: center;">Сл1. Зависимость от зарубежных производителей элементной базы Сл2. Необходимость настройки схемы Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования Сл4. Гарантированная работа устройства только в лабораторных условиях Сл5. Отсутствие собственного корпуса</p>
<p style="text-align: center;">Возможности:</p> <p>В1. Выход на конечных потребителей при использовании информационных ресурсов ТПУ</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок по отношению к разрабатываемому проекту</p> <p>В3. Привлечение специалистов из ТПУ для работы над проектом</p> <p>В4. Замена зарубежной компонентной базы на отечественную</p> <p>В5. Уменьшение габаритов устройства за счет использования SMD-компонентов или аналогов</p>		

Продолжение таблицы Л.1

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на устройство</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p> <p>У3. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У5. Повышение стоимости компонентной базы</p>		
--	--	--

Таблица Л.2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Дешевизна</p> <p>С2. Минимальные нелинейные искажения</p> <p>С3. Удобство в эксплуатации</p> <p>С4. Относительно небольшие массогабаритные параметры</p> <p>С5. Долговечность устройства</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Зависимость от зарубежных производителей элементной базы</p> <p>Сл2. Необходимость настройки схемы</p> <p>Сл3. Отсутствие бюджетного финансирования</p> <p>Сл4. Гарантированная работа устройства только в лабораторных условиях</p> <p>Сл5. Отсутствие собственного корпуса</p>
--	--	--

Продолжение таблицы Л.2

<p>Возможности:</p> <p>V1. Выход на конечных потребителей при использовании информационных ресурсов ТПУ</p> <p>V2. Повышение стоимости конкурентных разработок по отношению к разрабатываемому проекту</p> <p>V3. Привлечение специалистов из ТПУ для работы над проектом, использование ресурсов ТПУ</p> <p>V4. Замена зарубежной компонентной базы на отечественную</p> <p>V5. Уменьшение габаритов устройства за счет использования SMD-компонентов или аналогов</p>	<p>Улучшение характеристик устройства позволит увеличить спрос. Это позволит выйти на рынок музыкальной аппаратуры в РФ, вытеснить с рынка товары низкой стоимости из Китая и конкурировать с импортными продуктами. Использование ресурсов университета значительно повысит экономичность и безопасность разработки</p>	<p>Закупка необходимого оборудования, помощь в финансировании проекта и его сертификации увеличит конкурентоспособность. Использование отечественной компонентной позволит еще больше снизить стоимость устройства, а уменьшение габаритов устройства за счет использования SMD-компонентов устройства позволит устранить технические недочеты и перейти к массовому автоматизированному производству.</p> <p>Отсутствие финансирования заметно снизит эффективность разработки, но использование ресурсов ТПУ может устранить этот недостаток</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на устройство</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования</p> <p>У3. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции</p> <p>У5. Повышение стоимости компонентной базы</p>	<p>Эргономичность, низкая стоимость разрабатываемого устройства, а также его долговечность и простота вполне способны снизить возможную конкурентность устройства.</p> <p>Экономичность позволит удержать спрос в случае появления новых разработок конкурентов.</p>	<p>В связи с развитием конкуренции технологий, несвоевременным финансированием, введением дополнительных государственных требований к сертификации, есть риск потери занятой ниши рынка. Повышение стоимости компонентной базы негативно скажется на стоимости устройства, что можно исправить использованием отечественной элементной базы</p>

Приложение М (обязательное)

Перечень этапов работы с распределением по исполнителям

Таблица М.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель, инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, инженер
	4	Патентный обзор литературы	Инженер
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Научный руководитель, инженер
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Выбор и обоснование принципиальной схемы усилителя	Инженер
	10	Расчет принципиальной схемы	Инженер
	11	Оценка эффективности производства и применения разработки	Инженер
	12	Разработка социальной ответственности по теме	Инженер
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	13	Конструирование и изготовление макета устройства	Инженер
	14	Лабораторные испытания макета	Научный руководитель, инженер

Продолжение таблицы М.1

Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	15	Составление пояснительной записки	Инженер
--	----	-----------------------------------	---------

Приложение Н (обязательное)

Временные показатели проведения научного исследования

Таблица Н.1 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ			Исполнители	Т _р , раб. дн.	Т _к , кал. дн.
		t _{min} , чел-дн.	t _{max} , чел-дн.	t _{ож} , чел-дн.			
1	Составление технического задания	1	2	1,4	Р	0,7	1
		1	2	1,4	И	0,7	1
2	Выбор направления исследований	1	3	1,8	Р	0,9	2
		1	3	1,8	И	0,9	2
3	Подбор и изучение материалов по теме	3	7	3	Р	1,5	2
		3	7	3	И	1,5	2
4	Литературный обзор	3	5	8,2	И	3,8	6
5	Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	Р	0,7	1
		1	2	1,4	И	0,7	1
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	7	10	8,2	И	8,2	12
7	Оценка эффективности результатов	2	4	2,8	Р	1,4	2
		2	4	2,8	И	1,4	2
8	Определение целесообразности проведения ВКР	3	5	3,8	Р	1,9	3
		3	5	3,8	И	1,9	3
9	Выбор и обоснование принципиальной схемы усилителя	7	10	8,2	И	8,2	12
10	Расчет принципиальной схемы	4	7	5,2	И	5,2	8
11	Оценка эффективности производства и применения разработки	2	4	2,8	И	2,8	4
12	Разработка СО	10	14	11,6	И	11,6	17
13	Конструирование и изготовление макета устройства	3	5	3,8	И	3,8	6
14	Лабораторные испытания макета	2	4	2,8	Р	1,4	2
		2	4	2,8	И	1,4	2
15	Составление пояснительной записки	20	30	24	И	24	36

**Приложение П
(обязательное)**

Календарный план-график проведения

Таблица П.1 – Календарный план-график проведения

Вид работы	Исполнители	$T_{ки}$, дней	Продолжительность выполнения работ														
			февраль			март			апрель			май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Составление технического задания	Руководитель, инженер	1	■														
Выбор направления исследований	Руководитель, инженер	2	■	■													
Подбор и изучение материалов	Руководитель, инженер	2		■	■												
Патентный обзор литературы	Инженер	6		■	■	■	■	■	■								
Календарное планирование работ	Руководитель, инженер	1			■												
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	12			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Продолжение таблицы П.1

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дней	Продолжительность выполнения работ														
			февраль			март			апрель			май					
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Оценка эффективности результатов	Руководитель, инженер	2				■											
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, инженер	3				■	■										
Выбор и обоснование принципиальной схемы	Инженер	12				■	■	■									
Расчет принципиальной схемы	Инженер	8						■	■								
Оценка эффективности производства и применения разработки	Инженер	4							■	■							
Разработка СО	Инженер	17								■	■	■					
Конструирование и изготовление макета	Инженер	6										■	■				
Лабораторные испытания макета	Руководитель, инженер	2										■	■				
Составление пояснительной записки	Инженер	36												■	■	■	■