МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»
Институт «Космической инженерии и телекоммуникаций»
Кафедра «Электроника и робототехника»

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»
Заведующая кафедрой:
к.т.н., доцент Ауэзова А.М.

_____ «__» _____ 2018 г.
(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Расчёт и проектирование устройства для фильтрации речевой информации»

Специальность 5В071600 – «Приборостроение»

Выполнил(а) Галузин Т.А. Группа ПС-14-4

Научный руководитель: доцент Елеукулов Е.О.

_____ «5» июня 2018 г.
(подпись)

Консультанты:
по экономической части:
к.э.н., доцент Салимбаева Р.О.

_____ «29» 05 2018 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
д.т.н., страший преподаватель Бекбасаров Ш.Ш.

_____ «06» 05 2018 г.
(подпись)

Нормоконтролер: магистр, старший преподаватель Орынбай А.А.

_____ «5» июнь 2018 г.
(подпись)

Рецензент: к.т.н., страший преподаватель кафедры Энергетика КазНИТУ Утибаев Р.М.

_____ «_____» _____ 2018 г.
(подпись)

Алматы 2018 г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Институт «Космической инженерии и телекоммуникаций»
Кафедра «Электроники и робототехники»
Специальность 5В071600 – «Приборостроение»

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Студенту Галузину Т.А.

Тема работы «Расчёт и проектирование устройства для фильтрации речевой информации»

Утверждена приказом по университету № 155 от «23» октября 2017 г.

Срок сдачи законченного проекта «21» мая 2018г.

Исходные данные к работе (требуемые параметры результатов проектирования) и исходные данные:
1) обобщенная структура информационно-измерительных систем;
1) описание существующих информационно-измерительных систем;
2) область применения информационно-измерительных систем;
3) техническая документация использованных устройств.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе или краткое содержание дипломной работе:
1) анализ и изучение предметной области;
2) описание технических и программных решений;
3) разработка опытного образца устройства;
4) общие вопросы безопасность жизнедеятельности;
5) технико-экономические расчёты.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): в данной работе содержится 36 рисунков и 10 таблиц.

Основная рекомендуемая литература:

1. Козлов Б.А. Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Советское радио1988.

2. Приходько Н.Г. Основы безопасности жизнедеятельности. Конспект лекций. – Алматы: АУЭС, 2011.

3. Дюсебаев М.К., Абдимуратов Ж.С. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2009.

4. Еркешева З.Д Методические указания к выполнению экономической части дипломных работ для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение. – Алматы: АУЭС, 2017.

Консультации по работе с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Аналитическая часть	Елеукулов Е.О.	12.03.2018	
Проектная часть	Елеукулов Е.О.	09.04.2018	
Безопасность жизнедеятельности	Бекбасаров Ш.Ш.	06.05.2018	
Технико-экономические расчёты	Салимбаева Р.О.	04.04.18 04.06.18	

График
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Аналитическая часть		
2.	Обзор существующих СИП		
3.	Область применения СИП	12.03.2018	
4.	Проектная часть		
5.	Разработка и проектирование		
6.	Выбор оборудования		
7.	Изготовление прототипа	09.04.2018	
8.	Безопасность жизнедеятельности	06.05.2018.	
9.	Технико-экономическое обоснование	04.06.2018	

Дата выдачи задания «23» января 2018 г.

Заведующий кафедрой _____ Ауэзова А.М.,
(подпись)

Научный руководитель проекта _____ Елеукулов Е.О.
(подпись)

Задание принял к исполнению студент _____ Галузин Т.А.
(подпись)

Содержание

Введение 7
1 Аналитическая часть 8
1.1 Определение ШП 8
1.2 Классификация СШП 9
1.3 Принцип работы СШП 12
1.4 Обзор существующих СШП 19
1.5 Выбор области применения СШП 23
2 Проектная часть 24
2.1 Постановка задачи 24
2.2 Разработка и проектирование 24
2.2.1 Описание принципиальной схемы 25
2.2.2 Проектирование принципиальной схемы 28
2.2.3 Моделирование и проверка системы 32
2.3 Выбор оборудования и практическая реализация 36
2.3.1 Описание параметров компонентов 36
2.3.2 Выбор метода исполнения печатной платы 38
2.3.3 Изготовление печатной платы и используемое ПО 42
2.3.4 Расчет надежности проектируемого устройства 47
3 Безопасность жизнедеятельности 49
3.1 Акустический расчет звукового давления в помещении 49
3.2 Расчет снижения уровня акустического давления 55
4 Технико-экономическое обоснование 58
4.1 Описание устройства 58
4.2 Финансовый план 58
4.3 Цена интеллектуального труда 63
Заключение 65
Список литературы 66
Перечень сокращений 67

Введение

В современном мире существует очень много различных устройств для обеспечения комфортной и безопасной среды как во время работы, так и в любое другое время. Проблема посторонних звуков актуальна сейчас как никогда, множество громкой техники окружает нас на улице и в метро, двигатели самолетов работают оглушающе громко, станки и приборы на заводах могут представлять опасность для людей, т.к. слух со временем при большой нагрузке ухудшается и восстановить его уже не удастся.

Громкий и постоянный шум способен вызывать дискомфорт, усталость, головные боли и другие негативные последствия. Многие люди вынуждены работать в условиях высокого шума, для защиты они используют так называемые противошумные наушники, они изготовлены из специальных материалов, которые поглощают окружающие звуковые волны и очень плотно прилегают к голове, для обеспечения надежности. Такие наушники со временем тоже вызывают дискомфорт вследствие давления на голову.

В повседневной жизни также очень много раздражителей. Устройство, представленное в данной работе, может использоваться как в промышленности, так и для повседневного использования, что обеспечивает ему большие перспективы в производстве. Так же большим плюсом устройства будет являться его простота производства и возможности модернизации.

На данный момент практически нигде не используются похожие технологии, за исключением мультимедийных устройств. Хотя такая разработка была запатентована еще в 1934 году.

Например, такое устройство на производстве может помочь работникам в защите слуха без необходимости постоянно носить плотные шумоподавляющие наушники или бируши, при этом практически лишая их слуха. Однако, если шум на производстве будет отличной частоты от частоты голоса человека, то возможно построение системы, при которой все работники будут слышать друг друга, однако не слышать источника шума, без каких либо дополнительных устройств.

1 Аналитическая часть

В этой части дипломной работы будут рассмотрены различные виды понижения звукового давления, устройств и приспособлений для подавления внешних шумов, будут представлены разные виды шумоподавления, принципы их работы, эффективность и стандарты.

1.1 Определение шумоподавления

Система шумоподавления нацелена на уменьшение нежелательных звуков окружающей среды и может быть внедрена двумя разными методами. Первым является пассивное шумоподавление: этот метод основывается на предотвращении достижения звуковых волн до барабанной перепонки, и включается в себя такие устройства как беруши и шумопоглощающие наушники. Другой метод для достижения такого же результата – это активное шумоподавление, которое использует так называемое «звуковое перекрытие» и явление интерференции волн для снижения окружающего шума. Пассивное и активное шумоподавление может использоваться как отдельно, так и вместе, для обеспечения максимальной эффективности ограничения от посторонних шумов.

Хотя активное шумоподавление все еще только внедряется в больших масштабах, первые образцы такого устройства уже существовали с начала двадцатого века.

В 1933 году в Германии был запатентован концепт системы активного шумоподавления. Патент был зарегистрирован на имя Пола Люга. Именно он был первым, кто осознал возможность использования звуковых волн с фазой, обратной фазе звуковой волны шума.

Исследование и разработка активного уменьшения шума, который было логичнее всего внедрять в виде наушников, началась в 1978 году, после того как доктору Амару Боузу стало необходимо сделать наушники, которые могли бы уменьшить шум от самолетных двигателей и других шумов в кабине пилота. В то время с разработкой интегральных схем с операционными усилителями и сравнительно небольшими микрофонами поставленная задача была вполне реальна. Ему удалось создать такое устройство, и в последствии доктор Боуз основал свою компанию по производству аудио продукции, которая успешна и по сей день.

Данная система была впервые использована в военной промышленности, но была немного доработана. Однако, она использовалась не только в военных целях, со временем ее начались применять и в коммерческих целых. Такое оборудование получило распространение в системах гражданской воздушной промышленности для таких целей как: уменьшение шума пропеллеров и шумов от электрогенераторов, а также как изоляция от звуков охлаждающих конструкций. Но даже с такими применениями эта система не ушла далеко от лабораторных исследований до магазинов с обычными пользователями.

Практическая реализация системы активного ШП требует хорошего понимания основ как пассивного, так и активного подавления шума, в дополнение к этому необходимы знания физики и основ аналоговой электротехники.

1.2 Классификация СШП

Как уже упоминалось, существует два вида подавления окружающего шума: пассивное и активное.

Пассивное – вид защиты от шума посредством приспособлений, накладываемых на уши или вставляемых в ушные проходы. Одним представителей этого вида являются беруши (рисунок 1.1). Изначально их изготавливали из ткани, так называемой, рыхловолокнистой массы, на основе перхлорвиниловых волокон.

Рисунок 1.1 – Внешний вид одного из вариантов пассивного шумоподавления

Беруши изготавливаются из ПВХ, ваты, воска, силикона, полипропилена или термопластика, полиуретана. От материала изготовления и их конструкции могут изменяться их характеристики и сферы применения, однако все они хорошо защищают от шума низкой частоты. Как известно, шум низкой частоты считается наиболее вредным для человеческого слуха, так как при одинаковой громкости низкие частоты кажутся не такими громкими, как средние или высокие. В основном эти приспособления способны подавлять шум на 20-40 дБ в зависимости от материала и конструкции, но на практике, как можно заметить на рисунке 1.2, их эффективность гораздо хуже.

Эффективность вкладышей проверяется при производстве в лабораториях, и только после выпуска продукции в продажу производится его реальная проверка, которая отличается от лабораторной и выясняется, что такие средства защиты в реальных условиях работают как минимум в 2 раза хуже, чем при тестировании в лаборатории.

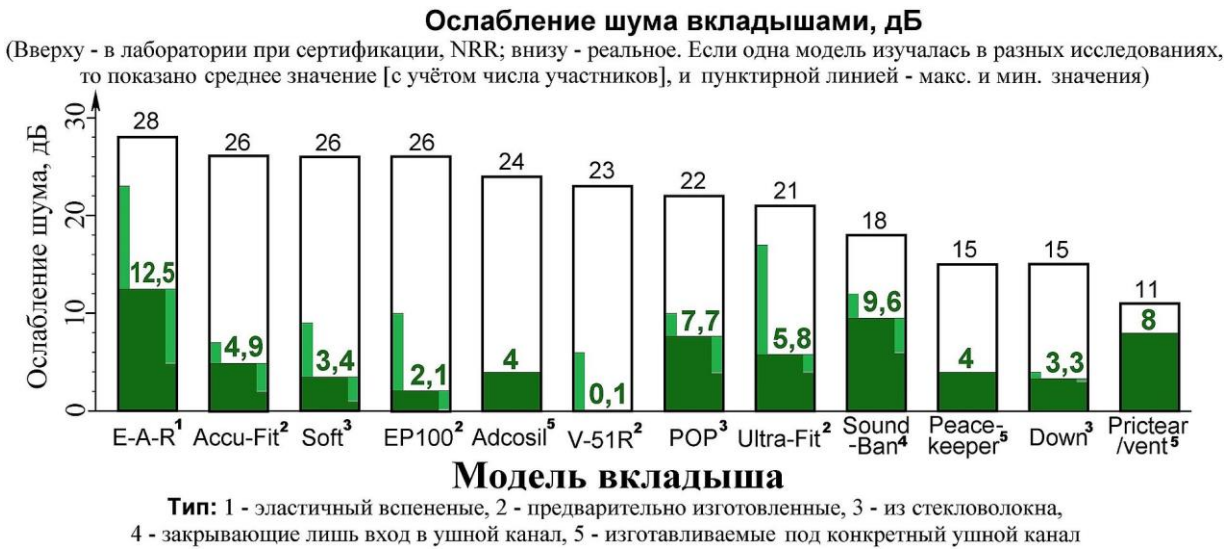


Рисунок 1.2 – Различия в уровнях шумоподавления

Как легко заметить их результаты не такие уж и высокие, несмотря на полную блокировку ушных проходов. Получается это в результате того, что лабораторные исследования проводятся со звуком определенной частоты, в частности звуком низкой частоты, в реальности же шум – это сумма звуковых волн разной частоты, как низкой, так и высокой.

Поэтому приспособления такого рода требуют правильного и своевременного применения для обеспечения наибольшей эффективности, обычно рабочие проходят обучающий курс для защиты органов слуха.

С защитными противошумными наушниками (рисунок 1.3) дело обстоит практически так же, они довольно массивные, должны плотно прилегать к голове, внутри имеют наполнение в виде звукоизолирующих валиков, созданных из вспененного полиуретана и глицерина.

Рисунок 1.3 – Внешний вид противошумных наушников

Эффективность такого устройства немного выше, чем у вкладышей за счет твердого пластикового корпуса и наполнителя, что в сумме дает лучший результат (рисунок 1.4).

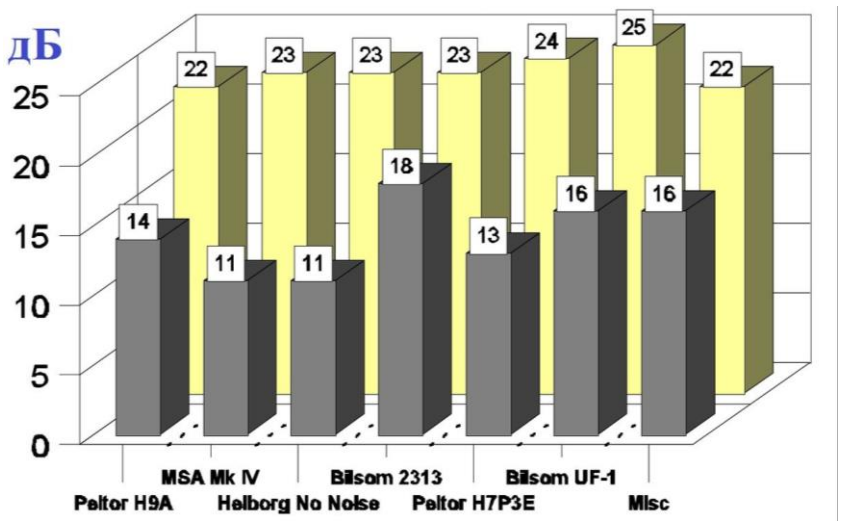


Рисунок 1.4 – Результаты измерений шума для наушников

Активное шумоподавление – в системах с таким типом шумоподавления используется электронная плата, два излучателя звуковых волн в виде динамиков и детекторы шума в виде двух или более микрофонов. Такие системы работают не за счет поглощения звуковых волн с помощью материалов или их отражения, а за счет создания схожей звуковой волне шума свою звуковую волну, но имеющую обратную фазу. С помощью микрофонов на наружной поверхности получают информацию о шуме, и генерируют, так называемый, противошум под чашами для подавления сильного шума.

Такие системы обычно используются вместе с приспособлениями с пассивным шумоподавлением, такими как противошумные наушники, имеют входы для подключения радиоаппаратуры для облегчения коммуникации, но более дорогие. Обычно используются в таких отраслях как авиация, железнодорожная промышленность и строительство, одним словом там, где как нигде требуется наличие коммуникации и защита от громкого шума агрегатов. Первые системы использовались исключительно в авиации и военной промышленности (рисунок 1.5).

Рисунок 1.5 – Внешний вид первых наушников с системой активного шумоподавления

1.3 Принцип работы СШП

Очень важно отличать процесс шумоподавления от процесса с таким же названием, но другим алгоритмом воздействия, а также от процесса шумопонижения. В данном случае шумоподавлением является процесс генерирования ответного сигнала, который через излучатель переходит в звуковую волну.

Для того, чтобы описать принцип работы системы необходимо начать с самого термина звука, с его физической составляющей. Звук – это физическое явление распространения упругих механических колебаний в твердой, жидкой или газообразной среде. В газообразной среде могут распространяться только продольные упругие волны. Такие волны распространяются в пространстве с конечной скоростью, которая зависит от среды распространения волны. Самым распространенным примером такой волны может быть акустическая волна в воздухе.

Такие волны получили самое широкое применение в самых разных сферах деятельности, начиная с музыки в виде камертона и заканчивая медициной в виде ультразвукового исследования.

Звук характеризуется амплитудой и частотой, как и любая другая волна. Амплитуда показывает насколько звук громкий, а частота определяет тон и высоту. Человеческое ухо способно слышать колебания воздуха в диапазоне частот от 16Гц до 20кГц. Все, что ниже этого диапазона называют инфразвуком; что выше – ультразвуком. Также звук характеризуется такой величиной, как звуковое давление. Звуковое давление сложным образом влияет на громкость звука в среде и его уровень измеряется в (дБ). Все измерения по влиянию звука на человеческое ухо определяются именно по этой величине.

Звуковые явления являются примером колебательного процесса. Любое колебание связано с нарушением равновесного состояния системы и выражается в отклонении её характеристик от равновесных значений с последующим возвращением к исходному значению. Для звуковых колебаний данной характеристикой будет давление в точке среды, а её отклонение — звуковым давлением.

Если произвести резкое смещение частиц упругой среды в одном месте, например, с помощью поршня, то в этом месте увеличится давление. Из-за упругих связей частиц давление переходит на соседние частицы, которые воздействуют на следующие, и область повышенного давления перемещается в упругой среде. За областью повышенного давления следует область пониженного давления, и, таким образом, образуется ряд чередующихся областей сжатия и разрежения, распространяющихся в среде в виде волны. Каждая частица упругой среды в этом случае будет совершать колебательные движения.

В жидких и газообразных средах, где отсутствуют значительные колебания плотности, акустические волны имеют продольный характер, то есть направление колебания частиц совпадает с направлением перемещения волны.

Работа СШП основана на явлении интерференции звуковых волн. Интерференция может возникнуть при работе двух излучателей звука в некоторой воздушной среде. При одновременном распространении волн от источников, смещение частиц среды представляют собой векторную сумму смещений, которые имели бы место при распространении каждой волны по отдельности, иначе говоря, волны просто накладываются одна на другую не искажая друг друга. Этот экспериментальный факт был известен еще Леонардо да Винчи, который заметил, что круги волн на воде разных источников проходят друг сквозь друга, и распространяются дальше, не претерпев никаких изменений.

Утверждение о независимом распространении нескольких упругих волн носит название принципа суперпозиции для волнового движения. Особый интерес представляет случай сложения так называемых когерентных волн, то есть волн от согласованных источников. Система подавления шума должна генерировать именно когерентные волны, которым необходимо иметь постоянную разность фаз во времени, для возможности их сложения. Классическим примеров когерентных волн могут быть два синусоидальных колебания одинаковой частоты. Когерентность волны значит, что в разных точках пространства волны осцилляции происходят одновременно и синхронной и есть разность фаз между двумя точками не зависит от времени. При отсутствии когерентности разность фаз между двумя точками не постоянна и меняется со временем, обычно такая ситуация возникает, когда волна сгенерирована совокупностью одинаковых излучателей, а не одним единым, при этом излучатели были независимы, то есть нескоррелированные.

Как видно из определения существует большой шанс того, что волны, которые будут сгенерированы системой все же не будут когерентными. Тогда явление интерференции наблюдаться не будет, аналогично и явление шумоподавления.

Кроме того, существует несколько видов когерентности звуковых колебаний: пространственная и временная.

При пространственной, колебания совершаются в один и тот же момент, но в разных точках пространства, и их направления распространения волн перпендикулярны друг другу. Такое понятие было введено для объяснения интерференции от двух разных источников, таких как длинные или круглые источники звука. Таким образом при определённом расстоянии до источника разность оптического хода станет такой, что фазы этих волн будут отличаться. В итоге поступающие волны от разных частей источника в регистратор будут уменьшать значение мощности по сравнению с максимальным, которое было бы, если волны имели одинаковую фазу.

Другими словами, если два излучателя будут расположены под углом 90 градусов, существует вероятность возникновения разности хода звуковой волны, вследствие чего не будет обеспечена фазовая постоянная.

Для отсечения возможности возникновения такого эффекта используется система приемника и излучателя в одном направлении.

Временная когерентность в свое время характеризует сохранение эффекта при временном отставании одного из источников по отношению ко второму. Мерой временной когерентности является ее время - то есть это максимально допустимое время отставания одного источника по отношению к другому.

Именно при сложении таких волн можно получить интерференционную картину, которая будет стационарной и в каждой точке будут происходить колебания с независящей от времени амплитудой. Отсюда можно сформулировать понятие интерференции. Интерференция волн – это явление наложения когерентных волн друг на друга, приводящей к перераспределению энергии переносимой этими волнами, в результате чего в среде наблюдается усиление или ослабление волнового процесса. Самым наглядным примером интерференции будет сложение двух волн с одинаковой частотой, амплитудой и фазой на рисунке 1.6.

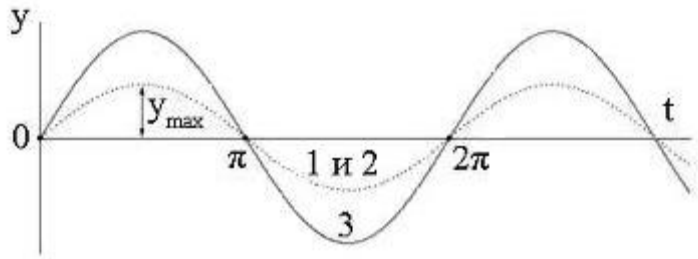


Рисунок 1.6 – Пример интерференции звуковых волн с увеличением амплитуды

При наложении двух этих волн образуется результирующая волна 3 с такой же частотой, но удвоенной амплитудой. Это один из эффектов интерференции, но в данной системе ШП используется другой, а именно компенсирование первой волны за счет второй.

Похожий пример на рисунке 1.7, даны две волны равной частоты и амплитуды, но имеющие разность фаз $\Delta\varphi=\pi$.

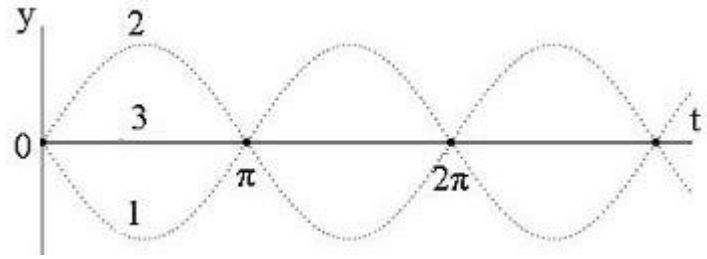


Рисунок 1.7 – Пример интерференции звуковых волн с нулевой результирующей

В этом случае две волны компенсируют (нейтрализуют) друг друга и результирующая волна имеет нулевую амплитуду или же вообще не существует.

В конечном итоге можно сделать следующие выводы, которые будут использованы в системе шумоподавления:

а) интерференция не зависит от частоты или формы сигнала;

б) энергия, переносимая волной, пропорциональна амплитуде и частоте колебаний источника, а не их квадратам;

в) при интерференции энергия результирующего колебания равна сумме энергий складывающихся волн;

г) энергия, переносимая волной возмущения, характеризуется не только величиной, но и направлением ее переноса и при распространении в среде гармонической волны, направление переноса меняется каждые полпериода.

Принцип работы устройства основывается на принципе работы первого запатентованного устройства такого рода, а именно система шумоподавления Пола Люга, с небольшим дополнением.

Иллюстрация одной из первых использованных систем шумоподавления в 1933 году Пола Люга представлена на рисунке 1.8.

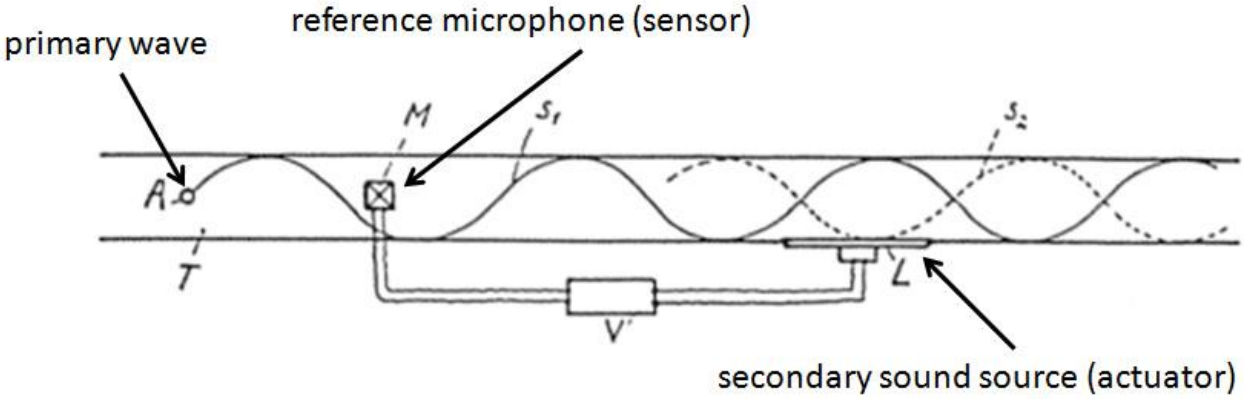


Рисунок 1.8 – Оригинальный патент Пола Люга

В его системе использовалась одна линейная звуковая волна, которая улавливалась микрофоном на определенном расстоянии от излучателя (динамика). Динамик воспроизводил сигнал, который имел противоположную фазу, как показано на рисунке 1.9.

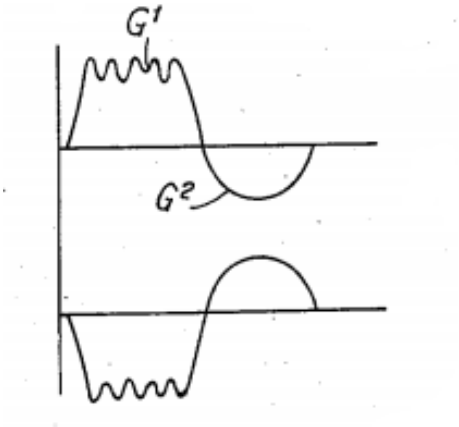


Рисунок 1.9 – График генерируемой волны в первых устройствах

Как видно из рисунка, в его устройстве фиксировалась частота сигнала и его амплитуда, затем, на выходе из устройства он получал синусоидальную волну со схожими характеристиками, но инвертированную. Таким образом работа устройства могла называться идеальной только при подавлении синусоидальной волны, в любом другом случае она бы оставляла шум другой частоты либо другой амплитуды. Но для понятия смысла работы данной системы этот пример достаточен.

Представленная система хоть и является рабочей, но имеет некоторые недостатки:

а) сенсор (микрофон) находится на определенном расстоянии от излучателя (динамика), что может вызывать отставание вторичной звуковой волны от шума. В идеале необходимо расположить их практически в одной точке, чтобы избежать искажений, вызванных длинной звуковых волн;

б) вторичная волна, создаваемая динамиком, имеет только синусоидальную форму. Реальный шум далеко не всегда имеет такую форму звуковой волны. Следовательно, использовать простой генератор частоты с настройкой амплитуды будет не самой лучшей идеей.

Решением данных недостатков будет являться устройство, способное улавливать шум с достаточной точностью для разных частот, которое по своей сути станет повторителем шума, но с инвертированной фазой звуковой волны и сенсором, расположенным как можно ближе к излучателю. Излучатель должен быть изолирован от сенсора, для предотвращения так называемого самовозбуждения и возникновения положительной обратной связи. Схематическое изображение на рисунке 1.10 демонстрируется расположение входных и выходных сигналов.

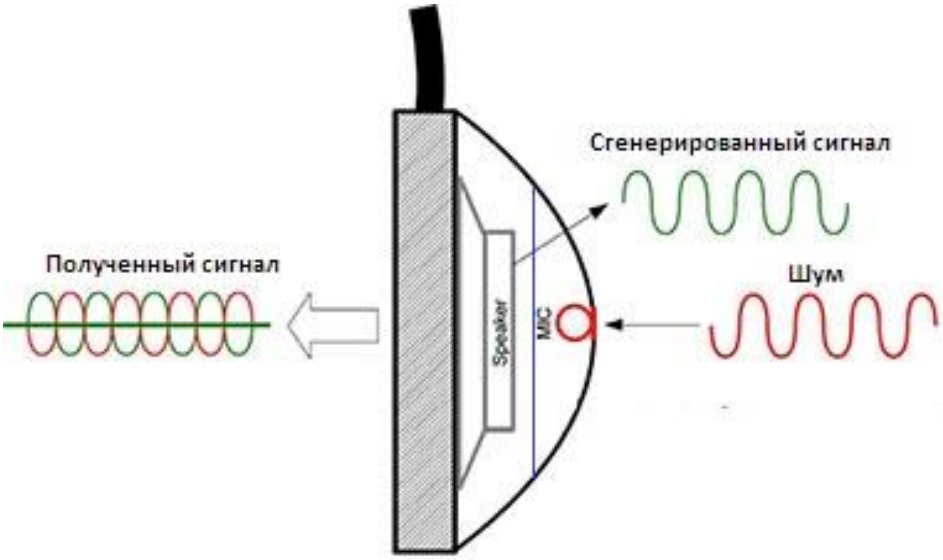


Рисунок 1.10 – Схематическое изображение принципа работы

Самым логичным выходом будет использование аналоговых компонентов, таких как операционные усилители, для уменьшения времени

задержки между шумом и сгенерированным сигналом. Использование процессоров любого рода вызовет задержку, которую в последствии необходимо будет просчитать и исключить.

Еще одним усложнением организации работы системы с контроллером является наличие шумов внутри устройства. Несмотря на то будет использован котроллер или нет, многие причины шумов встречаются и в аналоговой электронике и их необходимо рассмотреть и подготовиться. Причин для появления шумов в сигнальной системе такого типа существует большое множество:

а) рассогласованные линии передачи сигнала;

б) тепловой шум и дробовой шум в компонентах системы;

в) недостаточная разрядность АЦП;

г) резонансные явления;

д) паразитные связи (паразитная ёмкость);

е) самовозбуждение системы;

ж) нелинейность передаточных характеристик.

Каждый из них по отдельности представляет собой отдельный источник внутреннего шума. Первой причиной является рассогласованные линии передачи сигнала. При передаче звукового, как и любого другого переменного сигнала, может возникнуть ситуация, что входное напряжение уже сменило фазу, а до выхода сигнал еще не дошел. И такие погрешности возникают в проводниках сравнительно большой длины, например, в медном проводе сигнал предается примерно со скоростью $2 \cdot 10^8$ м/с. Это значит, что каждые 0.2 метра кабеля сигнал будет задержан на 2нс. С разной длиной волны будет возникать разная задержка в кабеле, и эту задержку нужно будет учитывать, либо отсекать ее определенными способами.

Тепловой шум – шум, возникающий вследствие теплового движения носителей заряда в проводнике, в результате чего возникает плавающая разность потенциалов на концах проводника. Он может возникать в любом проводнике электрического тока, который обладает активным сопротивлением и связан с беспорядочным движением свободных носителей заряда, в результате чего на концах и появляется разность потенциалов. Реактивные сопротивление – такие как индуктивности и емкости не могут быть причинами такого шума. В основном он проявляется в металлах из-за большой концентрации электронов проводимости и малой длины свободного пробега, а также скорости электронов во много раз превышают скорость направленного движения частик в электрическом поле, так называемой скорости дрейфа. Следовательно, мощность теплового шума не зависит ни от приложенного напряжения, ни от тока, ни от определенной частоты.

Дробовой шум – беспорядочные скачки напряжений и токов относительно их средних значений в электрический цепях различных электронных устройств, возникающие вследствие дискретности носителей электрического заряда. Всплески токов и напряжений происходят во время перемещения каждого носителя заряда в цепи. Такой шум не зависит от температуры и является одним

из самых распространенных шумов. Он проявляется в виде акустического шума характерного для динамиков радиоприемников, а также в виде знакомых всем серых движущихся точек на экранах телевизоров и тому подобного. Основной составляющей всех внутренних шумов многих электронных и радиоэлектронных устройств является дробовой шум. Он приводит к аддитивному искажению полезного сигнала и значительно ограничивает отношение сигнал-шум электронных деталей с высокой чувствительностью. Термин «дробовой шум» получил свое название благодаря характерному звуку, который издает излучатель радиоэлектронных систем во время холостой работы, похожий на звук сыплющихся дробинок. Для определения величины такого шума используется понятие спектральной плотности катода. Чем больше это значение, тем больше шум и флуктуация тока.

Недостаточная разрядность АЦП – появление шума при данном факторе неизбежно, так как для оцифровки звука в большом частотном диапазоне всегда связана с достаточной частотой дискретизации и ее разрешением. Так же помимо недостаточной разрядности, АЦП ограничено в разрешении отношением сигнал-шум входного сигнала. Различие соседних уровней входного сигнала становится практически невозможным при большой интенсивности даже при достаточной разрядности АЦП, а реально достижимое разрешение определяется уже другим значением. Этим значением является эффективная разрядность, которая меньше, чем реальная разрядность АЦП. Для обеспечения достаточной разрядности, аналого-цифровой преобразователь должен иметь отношение сигнал-шум равное примерно 6дБ на каждый бит разрядности, которое соответствует двукратному изменению уровня сигнала.

Резонансные явления – такие явления неизбежны при недостаточной изоляции элементов, между которыми может возникнуть акустическая, электрическая или электромагнитная связь. Резонанс может возникнуть при возникновении положительной обратной связи в акустической системе и накапливаться в системе до его максимального значения. Электромагнитные катушки могут влиять на направление и величину тока в электрической схеме, поэтому для того чтобы уменьшить случаи резонансного влияния используются специальные малошумящие элементы, в частности активные и пассивные компоненты с низким уровнем шума.

Паразитные связи – связи, возникающие между проводниками или элементами электронных схем, в результате чего появляется нежелательная емкостная связь. Такие связи отдаленно напоминают резонансные явления, так как эффекты, возникающие вследствие таких связей довольно схожи. Такими явлениями могут быть паразитные отрицательные или положительные связи, вызванные непредсказуемостью фазовых характеристик, что приводит к самовозбуждению в положительных обратных связях или к уменьшению коэффициента передачи в отрицательных обратных связях. Электромагнитные силы также могут быть

причиной возникновения паразитных связей в RC- фильтрах или LC-контурах.

Самовозбуждение системы – этот эффект уже встречался в предыдущих двух факторах, возникает он из-за электрических колебаний в электронной схеме при отсутствии внешних помех. Самовозбуждение происходит, когда выходной сигнал попадает на вход усилителя, усиливается и снова попадает на вход. Такой процесс циклически повторяется, причиной которого является неустойчивость равновесия в системе. Обычно такой эффект является негативным, например, писк громкоговорителя или динамиков на выступлениях. Однако самовозбуждение используется намерено в электромашинных генераторах.

Нелинейность передаточных характеристик – шумы, возникающие вследствие нелинейности динамических звеньев САУ возникают из-за того, что при проектировании системы обычно используются передаточные функции для системы с использованием преобразования Лапласа, когда начальные условия считаются нулевыми и оригиналы сигналов заменяются изображениями по Лапласу. Отношения таких изображений называется передаточной функцией динамического звена и ничего не мешает ее вычислить, однако, когда передаточные характеристики изменяются нелинейно вычисление конечной передаточной функции довольно проблематично, а неучтенные характеристики в конечном итоге остаются шумом до тех пор, пока все нелинейные характеристики не будут вычислены и добавлены в расчеты.

Все эти факторы необходимо учесть в конечной системе и постараться от них избавиться, так как совокупное влияние может оказаться критичным для работоспособности системы активного шумоподавления.

1.4 Обзор существующих СШП

На сегодняшний день существует множество исполнений данной системы и разные сценарии использования. Занимаются такими разработками только очень крупные компании, такие как Sony, Apple, Honda, Bose, и другие.

Внедрением шумоподавления в автомобили пока что занимается только одна вышеупомянутая компания. Во всех зарубежных источниках такая система называется ANC – Active Noise Cancellation. Суть работы является практически одинаковой. Точно так же используются динамики и микрофоны, однако в автомобилях компания Honda добавила использование данных с двигателя. Информация с микрофонов и скорость оборов ДВС передаются на контроллер, который ее обрабатывает и создает сигнал в противофазе. Так как никакой другой информации кроме величины подавления звукового давления и ограниченной частоты они не указывают, можно предположить, что для обеспечения корректной работы использовалось расстояние от излучателей до микрофонов за вычетом примерной высоты головы от потолка автомобиля для расчёта длины волны.

В связи с тем, что в данной системе используется контроллер, сигнал, приходящий от микрофонов, сначала оцифровывается, далее он попадает в котроллер, где уже и замеряются его значения, он инвертируется и выставляется нужная задержка. После этого, чтобы воспроизвести выходной сигнал, используется еще одно устройство, похожее на усилитель и цифро-аналоговый преобразователь в одном корпусе. И только потом сигнал выведется на динамики.

Компания утверждает, что шум уменьшается более чем на 10дБ, для примера, такой уровень звукового давления сравним с тиканьем часов или звуком падающей иголки. Уменьшение на 10дБ неплохой результат, но использование настолько многокомпонентной системы значительно снижает ее параметры надежности и ремонтопригодности, что для автомобиля является огромным минусом, также существует большой риск, что при отклонении слушателя от заданного расчетами положения, шум вследствие резонанса может даже усилиться, это неизбежно в системах открытого типа, не говоря уже об ограничении частоты подавления в 100Гц, что так же вызвано ограничениями памяти и временем расчетов контроллера.

Гораздо более широкое применение получили системы, встраиваемые в наушники. С момента открытия технологии прошло уже более 80 лет, производители аудиотехники занялись шумоподавлением с особой серьезностью, было проведено много исследований и множество людей работало для ее модернизации, вследствие чего был создан специальный стандарт для наушников с активным шумоподавлением. Япония – во все времена была на шаг впереди в создании аудиотехники, неудивительно, что именно там, как и для любой технологии был разработан стандарт от Ассоциации Электроники и Индустрий Информационных Технологий Японии (англ. JEITA).

Стандартом для накладных наушников с активным шумоподавлением является документ под именем RC8142. В нем указаны все нормативы, значения для тестовых сигналов розового шума и шума окружающей среды, измерения уровня звукового давления и его допустимые значения, а также данные по питанию подобных устройств.

При тестировании подобных устройств используется специальная таблица со значениями звукового давления и его допустимыми пределами при всех слышимых частотах для фонового шума. Как видно из таблицы и графика на рисунке 1.11 наименьшая погрешность допустима при низких частотах и наибольшая при больших. В документе сказано, что подобные значения вычислены эмпирическим путем с учетом возможностей звуковоспроизводящих и звукозаписывающих устройств.

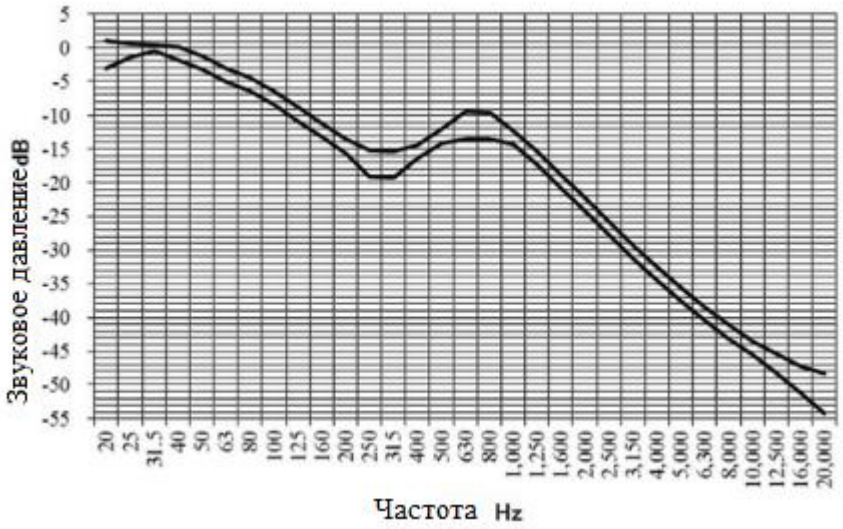


Рисунок 1.11 – Характеристики генерируемого шума

Также в данном документе присутствует примерная электрическая схема устройства, используемая в системах такого рода и она имеет вид (рисунок 1.12):

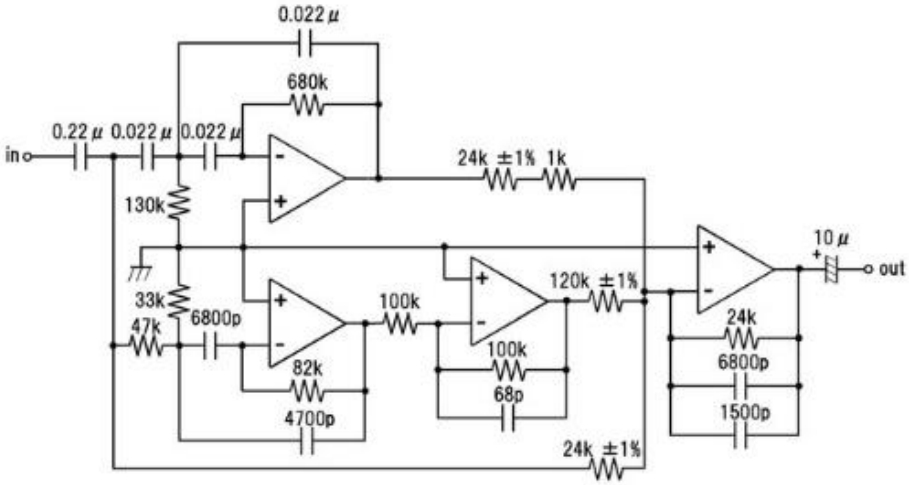


Рисунок 1.12 – Стандартная электрическая схема устройства шумоподавления

Устройство с такой электрической схемой способно усиливать и инвертировать сигнал с определенным коэффициентом усиления, зависящим от типа используемых операционных усилителей и значений сопротивления резисторов в их обвязке. Также на данной схеме можно заметить множество конденсаторов на входе, они необходимы для фильтрации входного сигнала, ведь сигнал с микрофона, кроме шума, также имеет и помехи, которые нужно отсечь. Похожее строение будет иметь устройство из дипломной работы.

Кроме электрической схемы существует график для проверки работоспособности системы:

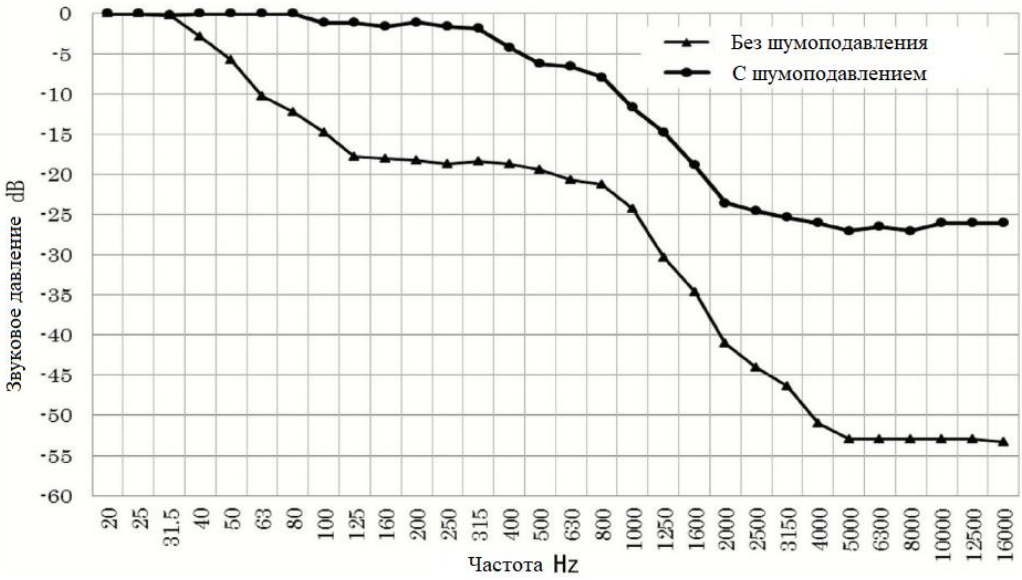


Рисунок 1.13 – Сравнительная характеристика устройств

График допустимых значений для устройства шумоподавления имеет довольно строгие требования к нему, как видно, при частоте в те же 100Гц звуковое давление должно быть на 15дБ меньше, а при 5кГц на 25дБ меньше. Но эти значения учитывают так же пассивное шумоподавление амбушюр наушников и их конструкции, вследствие чего такие большие значения подавления.

И даже в сумме с пассивным шумоподавлением не все продукты самых крупных компаний, таких как Sony, успешно проходят сертификацию, что делает достижение представленных результатов очень амбициозной целью.

В это время многие другие компании успешно продвигают на рынок свои продукты без какой-либо сертификации и представляют свои исследования и данные, а пользователям приходится, в конечном итоге, делать выбор, опираясь только лишь на собственные ощущения и никем не подтвержденные слова производителя.

Одним из самых известных проектов последних лет в активном шумоподавлении стало устройство, которое, по заявлениям разработчика способно обеспечивать подавление шума в определенной области посредствам своего рода вибрационного динамика. Особенностью таких динамиков является то, что у них нет диффузора, хотя остальное устройство такое же, как и у обычных динамиков, то есть это все та же электродинамическая головка, с магнитом снаружи и катушкой внутри. Хоть у него и нет диффузора, в его роли может быть любая поверхность, к которой прикреплено устройство. Громкие заявления и необычный динамик все же не помогли этому устройству выполнять заявленные функции, что совсем не удивительно, из-за многих факторов, таких как нестабильная работа динамика, различное расстояние от слушателя до детектора, неизвестное исполнение электрической схемы и программного обеспечения, а также множество других. Однако все эти,

казалось бы, очевидные недостатки не помешали разработчику устройства получить финансирование на дальнейшую разработку подобного продукта.

1.5 Выбор области применения СШП.

Очень важным аспектом данной системы является выбор цели, для которой будет использоваться система. Важен он потому, что для нормальной работы системы устройство записи сигнала и излучатель сгенерированного сигнала должны находиться на определенном расстоянии от слушателя и от источника, в зависимости от характеристик шума.

Так, при настройке системы на нужный сигнал и последующем перемещении детектора (устройства записи) или излучателя, стабильная работа может быть нарушена. Например, в большом помещении, где имеется множество источников шума и множество рабочих, нужно организовать систему шумоподавления для каждого из рабочих. Необходима будет своя система динамиков, а также микрофон с передатчиком на устройство с контроллером, чтобы у рабочих была свобода от проводов. Таким образом система превращается в очень сложную комплексную структуру, которая вряд ли под силу одному человеку.

Поэтому самым универсальным для демонстрации типом системы являются наушники, т.к. расстояние от уха до излучателя является постоянным и определяется строением наушников. Расстояние от источника шума до детектора будет разным, для этого система должна будет уметь подстраиваться под условия.

Помимо выбора типа системы, необходимо так же выбрать представление для электрической схемы и выбрать метод ее питания. Электрическая схема будет выполнена в виде отдельного устройства с входными и выходными гнездами и переключателями. В теории такое устройство может быть использовано в любой области при правильно расположении микрофонов и динамиков. Кроме того, устройство будет иметь кроме инвертора и усилителя сигнала микрофона, усилитель для подачи внешнего сигнала на наушники. Другими словами, данное устройство может быть использовано как в строительстве или на заводах, так и в повседневной жизни. Устройство не будет представлено как система для определенного рода деятельности, тогда каждый, кто заинтересуется подобной системой сможет просто использовать его для своих нужд.

2 Проектная часть

Целью проектной части дипломной работы является описание принципиальной схемы устройства, обоснование выбора компонентов электрической схемы, ее проектирование и построение, моделирование и разводка электрической платы, а также используемое программное обеспечение.

2.1 Постановка задачи

Задачей данного дипломного проекта является проектирование и сборка устройства для подавления внешних шумов. Проектируемое устройство должно быть автономным, следовательно, будут использованы батареи, а также быть модульной, чтобы обеспечить универсальное использование для различных сценариев использования. Кроме коммуникабельности батареи также способны обеспечить меньшее количество возникающего шума, в отличие от использования сетевого импульсного или трансформаторного блоков питания.

Излучатели должны иметь форму наушников в конкретном образце, чтобы уменьшить вероятность погрешности при тестировании системы. Конструкция и исполнение подобное гарнитуры особого значения не имеет, может быть использованы любые динамики, способные воспроизводить звуки в слышимом диапазоне, с достаточной точностью.

Разрабатываемая система должна обладать двумя детекторами. Микрофоны должны располагаться как можно ближе к излучателям, при этом необходимо звуковая изоляция между ними.

В проектируемом устройстве не будет использован контроллер, АЦП и ЦАП из-за многих вышеупомянутых причин, таких как задержки в передаче сигнала, значимость разрядности АЦП. Вместо контроллера будут использованы спаренные операционные усилители, отличительной чертой которых должно являться малый собственный шум.

Должа быть возможность отключить и подключать периферию отдельно от обрабатывающего модуля, поэтому должны быть выходы стандартного формата. Так как некоторые люди невосприимчивы к технологии активного шумоподавления необходима функция отключения системы, тогда устройство может быть использовано в качестве портативного усилителя для гарнитуры.

2.2 Разработка и проектирование

В этой части будет проведена работа по исследованию и проектированию принципиальной схемы, разобрана каждая часть представленной системы и ее описана работа, также в данной части будут указаны все методы и приемы, используемые для расчетов и исследования электрических схем, проектирование печатной платы и ее создание, кроме того, будет проведен расчет надежности созданного устройства.

2.2.1 Описание принципиальной схемы

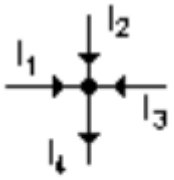
Принципиальная схема – это графическая модель, показывающая связи между элементами электрического устройства с помощью условных графических и буквенно-цифровых обозначений.

Существует несколько возможных исполнений схемы активного шумоподавления, основная структура данной системы была представлена в стандарте для наушников с активным шумоподавлением, основанная на операционных усилителях.

Но перед тем как начать проектирование электрической схемы шумоподавления, необходимо понять всю специфику работы любой схемы и вспомнить основы физики и электротехники. Каждая цепь содержит различные компоненты, каждый из которых имеет свои свойства и характеристики. Эти характеристики обычно измеряются во время проектирования электрической схемы и могут быть изменены для достижения желаемого результата. Одним из самых часто изменяемых переменных является напряжение, ток и сопротивление компонентов электрической цепи. Напряжение представляет собой разность потенциалов, нужную для перемещения единичного заряда через любой компонент электрической цепи. В свою очередь ток – определяет количество зарядов, которые протекают через данный компонент цепи. Сопротивление – понятие описывающее импеданс или полное сопротивление, которое оказывает какой-либо компонент току, протекающему через этот самый компонент.

Отношение между этими величинами – током, напряжением и сопротивлением в цепях описывается законом Ома. Закон Ома базируется на том что падение напряжение через две точки сопротивления – это результат произведения тока и сопротивления (V=I*R, где V – напряжение, I – ток, R – сопротивление).

Обычно, закон Ома используется в сочетании с другими математическими отношениями, полученными из аналитических цепей. Всего есть еще два фундаментальных закона для электрических цепей. Это законы Кирхгоффа: Первый (Правило соединения) и Второй (Замкнутые контуры) законы. Первый закон происходит из закона сохранения энергии, который гласит: в любом соединении или узле алгебраическая сумма всех токов равна нулю. Другими словами, количество тока, которое входит в узел, должно так же и выходить из этого узла (рисунок 2.1).



$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4$$

Рисунок 2.1 Первый закон Кирхгоффа

Второй закон был получен из закона сохранения электростатических полей, который основывается на том, что алгебраическая сумма напряжений любого контура равна нулю (рисунок 2.2).

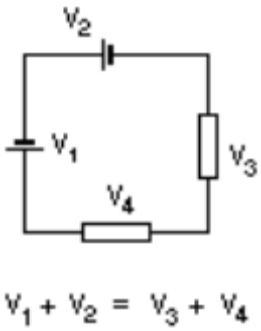


Рисунок 2.2 – Второй закон Кирхгоффа

Эти законы помогают понять перемещение энергии в электрической цепи, а также анализировать их.

Когда цепь содержит больше одного резистора, эти резисторы могут быть представлены как один резистор и могут быть упрощены двумя методами, зависящими от того как они расположены – последовательно или параллельно. Когда они соединены последовательно, то есть конец одного сопротивления соединен с началом другого, ток проходит через каждый резистор в соответствии с первым законом Кирхгоффа, тогда полное сопротивление цепи – сумма падений всех напряжений, деленая на ток.

$$R_{Total} = \frac{V}{I} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \cdots}{I} = \frac{V_1}{I_1} + \frac{V_2}{I_2} + \frac{V_3}{I_3} + \cdots \qquad (2.1)$$

Резисторы так же могут быть соединены параллельно, когда электрическая цепь разветвляется в разные направления и каждая из них содержит резистор. Тогда разность потенциалов в местах, где они разветвляются и в месте, где они сходятся, должна быть сложена со всеми другими падениями напряжения. Это, как уже было сказано, основывается на законе Кирхгоффа, но в данном случае на втором.

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots \qquad (2.2)$$

Для каждого резистора, добавленного в параллельную цепь, полное сопротивление будет уменьшаться и всегда будет меньше, чем сопротивление любого из резисторов, включенных в цепь [1].

Другой часто используемый принцип в изучении электрических цепей – это отношение напряжения и тока в цепи. Отношение напряжения и тока основано на принципе деления напряжения и тока между различными компонентами электрической цепи и может легко быть использована в качестве переменных в законах Ома и Кирхгоффа. Так напряжение, на каждом резисторе

в последовательной цепи таких резисторов пропорционально общему напряжению всех резисторов равное количеству сопротивлений в цепи, деленное на сумму всех сопротивлений этой цепи.

$$V_n = \frac{Rn}{R1 + R2 + R3 + \cdots} V_T. \quad (2.3)$$

Также ток, протекающий через один резистор в параллельном соединении резисторов будет пропорционален общему току через всю параллельную цепь резисторов, уменьшенный отношением проводимости (G) (1/R) одного резистора к сумме всех проводимостей данной цепи.

$$I_n = \frac{G_n}{G_t} I_t. \quad (2.4)$$

Эти принципы могут быть использованы и для операционных усилителей чтобы достичь желаемого результата. Операционный усилитель – это усилитель электрического напряжения, обычно используемый для выполнения однопроцессорных операций, чаще всего математические операции в аналоговых цепях. Однако сами по себе они довольно сложные устройства, поэтому часто они изображаются как более простые компоненты, свойства которых соответствуют идеальному операционному усилителю. Идеальный операционный работает при двух условиях: токи на обоих входах равны нулю и напряжения через оба входа равны друг другу. В традиционном изображении операционного усилителя V+ - это не инвертирующий вход, V- инвертирующий вход, V_{out} – это выход, V_{s+} - положительный контакт для питания и V_{s-} - это отрицательный контакт питания (рисунок 2.3).

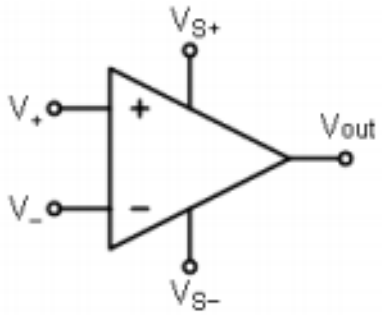


Рисунок 2.3 – Схема операционного усилителя

Обычно операционный усилитель используется в аналоговых цепях для суммирования или разности усилителей, а также могут быть инвертирующими и не инвертирующими. Каждый усилитель имеет собственную передаточную функцию или, как его еще называют, коэффициент усиления, который показывает отношение между входных и конечным выходным напряжением. Коэффициент усиления зависит от конфигурации и количества резисторов, соединенных с операционным

усилителем. Для цепи шумоподавления, операционные усилители легко могут быть использованы для усиления единичного сигнала.

Другой электрический компонент высокой значимости для проектирования схемы активного шумоподавления является конденсатор, которые накапливает энергию между двумя емкостными обкладками. Когда на обкладках конденсатора образуется разность потенциалов достаточной величины, образованная накопленным зарядом на одной из обкладок, возникает электрический ток, который проходит через электролит внутри конденсатора на вторую обкладку. Накопленная электрическая энергия может быть высвобождена через резистор или другой потребитель, когда это нужно [2].

Цепь в составе которой содержится сопротивление и емкость, соединенные последовательно, часто используются как фильтры, выступающие разделителем между сигналами с большой и маленькой частотой. Фильтрующая цепь отсекает определенное количество частот из сигнала, например, уменьшение низких частот из какой-либо мелодии будет наиболее заметно. Если выходное напряжение, снято с резистора, где уменьшены низкие частоты, может называться фильтром высоких частот. А если выходное напряжение, снято с емкости, где уменьшены высокие частоты, то такое устройство может называться фильтром низких частот.

2.2.2 Проектирование принципиальной схемы

Существует несколько возможных исполнений системы активного шумоподавления. Одним из них является построение системы на основе специального контроллера AS3415-EQFM от фирмы AMS (рисунок 2.4). Контроллеры такого типа не содержат в себе каких-либо цифровых преобразователей, поэтому способны работать на такой же скорости, как и любые другие аналоговые схемы. Однако они имеют гораздо более компактный вид, что может помочь при монтировании печатной платы непосредственно в корпус наушников, это может обеспечить большую защиту от помех, а также уменьшить количество проводов в устройстве. Все элементы управления расположены непосредственно в чипе, то есть такое устройство может считаться полноценной системой на кристалле, или однокристальной системой, такие схемы выполняют функции целого устройства, но размещены на одной интегральной схеме [3]. Но в отличие от типичной системы на кристалле, данное устройство не имеет характерных для нее свойств и является аналоговым преобразователем. Также она не имеет возможности программирования или перепрошивки, причиной которого является, опять-таки, отсутствие процессорного блока и блоков памяти внутри устройства.

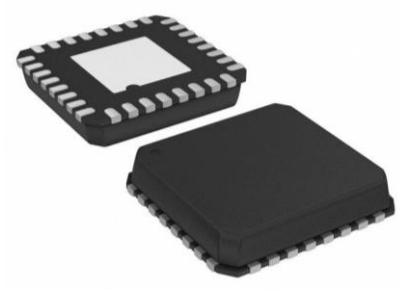


Рисунок 2.4 – Внешний вид микросхемы AS3415-EQFM

Данный контроллер точно также основан на операционных усилителях, но имеет множество встроенных в микросхему фильтров и режимов работы (рисунок 2.5). Таким образом при малых габаритах он обеспечивает высокий КПД и более надежные характеристики, подключение и питание данной микросхемы также не должно вызывать никаких проблем, микросхемы такого типа обычно используются в готовых устройствах многих компаний, то есть в качестве одного из элементов для обеспечения функциональности более сложных комплексных схем. В основном они используются в составе печатных плат для мобильных телефонов или видео-звукозаписывающих устройствах для подавления внешних шумов, таких как шум ветра и подобных. Однако в Казахстане найти такую микросхему очень тяжело, ни одна компания их не поставляет. Поэтому было решено отказаться от компактности и удобства использования данного микроконтроллера в пользу более доступного варианта на операционных усилителях компании Texas Instruments.

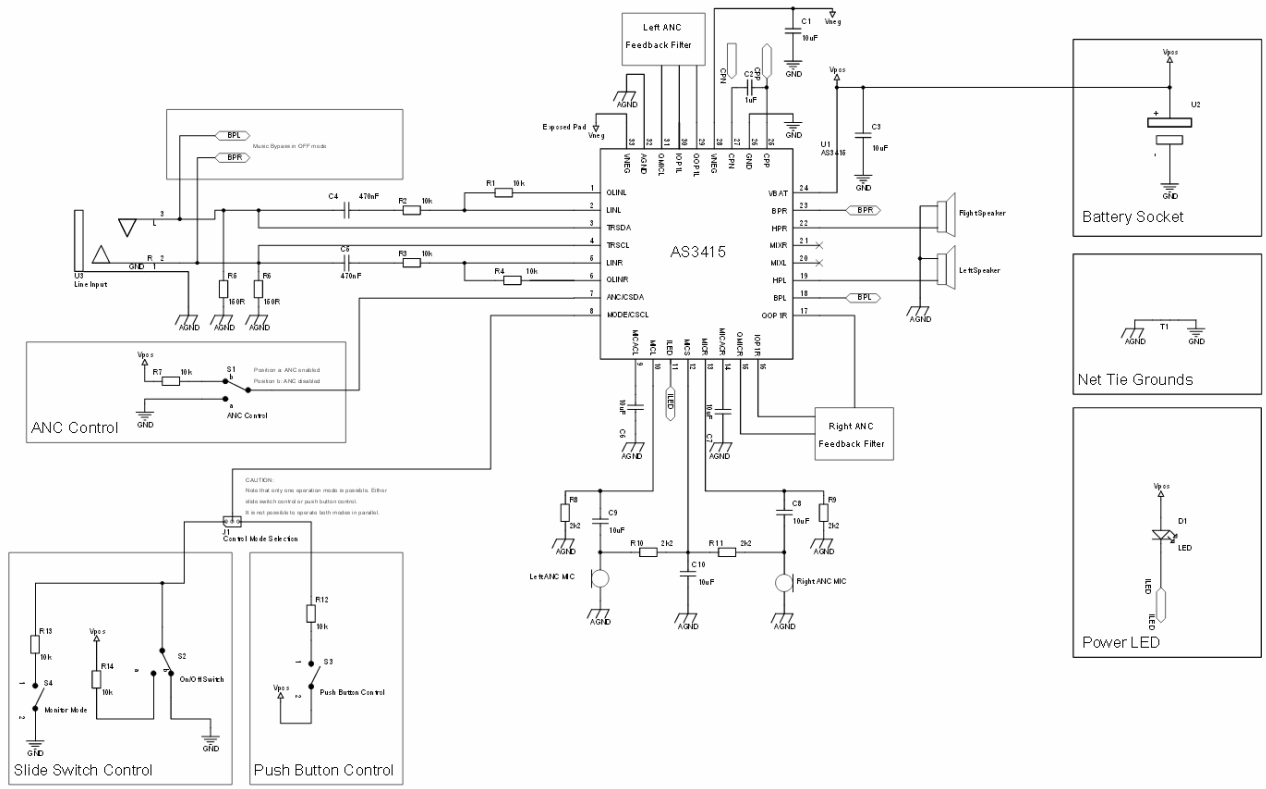


Рисунок 2.5 – Принципиальная схема подключения микросхемы AS3415-EQFM

В качестве рабочей схемы будет использована система на основе малошумящих операционных усилителей NE5532. Как было сказано ранее, входной сигнал будет подвергнут различным изменениям для достижения желаемого выходного сигнала. Схема в системе активного шумоподавления может быть разделена на 3 части, в каждой из частей содержится цепь с операционным усилителем, которая изменяет входной сигнал уникальным способом (рисунок 2.6).

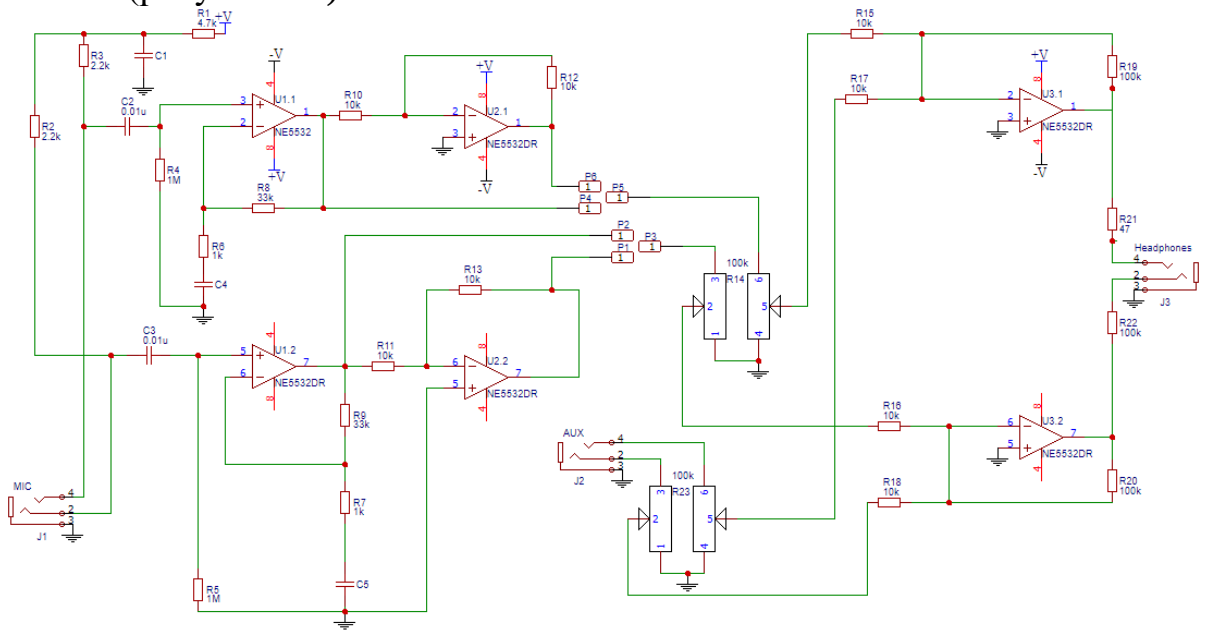


Рисунок 2.6 – Электрическая схема устройства активного шумоподавления

Первая секция в схеме электрической цепи – это не инвертирующий предусилитель, вторая – инвертирующий операционный усилитель для изменения фазы входного сигнала, третья – суммирующий усилитель, который складывает предыдущие сигналы. Все эти три главные части цепи ведут от одной к другой последовательно, модифицируя сигнал, по мере его прохождения через электрическую схему.

Наушники для шумоподавления имеют два раздельных канала, для обеспечения стереозвука. Эти два канала идентичны и идут параллельно друг другу. Шумоподавление достигается благодаря прохождению аналогового аудио сигнала через все три секции схемы.

Первая часть цепи представляет не инвертирующий операционный усилитель, который работает как предусилитель (рисунок 2.7). Предусилитель необходим в цепи, так как аудио сигнал с микрофона очень слабый и должен быть усилен для того чтобы его можно было использовать в дальнейшем.

Коэффициент усиления этого предусилителя определяется отношением между R8 и R6, который равен 33. С помощью изменения значений двух данных резисторов можно контролировать амплитуду аудио сигнала, который выходит из предусилителя. После того, как слабый сигнал с выхода микрофона усиливается, он отправляется на вход второго операционного усилителя, который играет роль фазоинвертора.

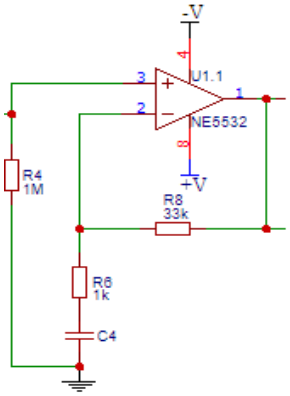


Рисунок 2.7 – Часть электрической схемы с предусилителем микрофона

Вторая часть принципиальной схемы – это цепь инвертирующего операционного усилителя (рисунок 2.8). Эта цепь инвертирует фазу входного сигнала с помощью изменения полярности напряжения этого сигнала, в момент, когда тот выходит из операционного усилителя.

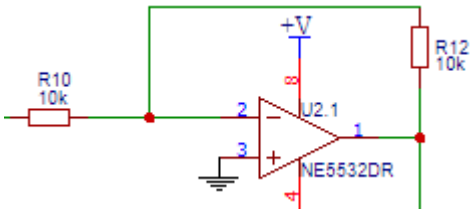


Рисунок 2.8 - Часть электрической схемы для инверсии звукового сигнала

Усиление этой цепи контролируется так же отношением двух сопротивлений R12 и R10. Для этого участка цепи, сопротивления R12 и R10 равнозначны, следовательно, коэффициент усиления равен единице. Сделано это по причине того, что больше не требуется изменение амплитуды входной волны. Также эта часть единично-усиливающей схемы отсекает любые искажения аудио сигнала путем его повторения. На конце описываемой части электрической схемы имеется переключатель, который обеспечивает возможность включения или выключения шумоподавления, посредством выбора между сигналом с инвертированной фазой, либо оригинального сигнала с предусилителя [5]. Выход операционного усилителя в этой части соединен с потенциометром, с помощью которого можно регулировать усиление всего сигнала, полученного в этой точке. Потенциометр также позволяет управлять амплитудой инвертированного шумового сигнала, что дает пользователю возможность более точной настройки шумоподавления. Идеальное отсечение шума возможно только тогда, когда амплитуда инвертированного шумового сигнала совпадает с амплитудой самого внешнего шума. Выход с потенциометра идет на следующий усилитель.

Третья часть – это часть цепи, в которой установлен суммирующий усилитель, который смешивает инвертированный шумовой сигнал и вторичный сигнал, такой как музыка либо любой другой сигнал с радиоустройства (рисунок 2.9).

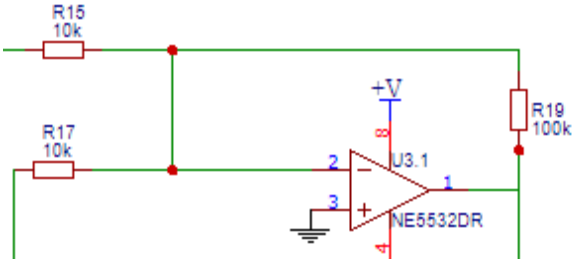


Рисунок 2.9 – Часть электрической схемы с суммирующим операционным усилителем

На выходе получается финальный сигнал, который идет на наушники. Усиление этого смешанного сигнала контролируется отношением между R19 и суммой всех сопротивлений до этого резистора. Суммирующий усилитель накладывает два аналоговых сигнала и проигрывает оба через динамик. Вторичный вход этой цепи сначала проходит через потенциометр, который управляет амплитудой этого сигнала, что позволяет выставлять громкость собеседника, либо музыки. Выходной сигнал данного усилителя – это последняя точка, после которой сигнал шумоподавляющей системы будет передан на входы излучателя.

Вся эта электрическая цепь состоит из двух одинаковых частей, для того, чтобы сигнал принятый с микрофонов мог быть передан на каждый динамик наушников – левый и правый.

2.2.2 Моделирование и проверка системы

Для того, чтобы заранее проверить работоспособность представленной электрической схемы можно воспользоваться пакетом программ для автоматизированного проектирования электронных схем (САПР), а именно пакетом программ Proteus.

Пакет программ, разработанный компанией Labcenter Electronics, представляет собой систему для схемотехнического моделирования, основывающуюся на моделях электронных компонентов, принятых в PSpice. PSpice – одна из первых программ для симуляции аналоговой и цифровой логики, которая была написана на языке SPICE и была предназначена для персональных компьютеров [8]. Данный пакет программ выделяет то, что он содержит больше количество программируемых устройств, таких как микроконтроллеры, микропроцессоры и другие, а также очень большую библиотеку различных электронных компонентов и микросхем. Помимо большого набора добавленных компонентов пакет состоит из двух частей: ISIS – программа для синтеза и моделирования самих электронных схем и ARES – программа для разработки печатных плат. В данной дипломной работе будут использованы обе эти программы. В ISIS будет смоделирована представленная электрическая схема и проверена ее работоспособность и относительная точность прибора (рисунок 2.10). В ARES будет смоделирована печатная плата и разведены все дорожки компонентов для готового устройства.

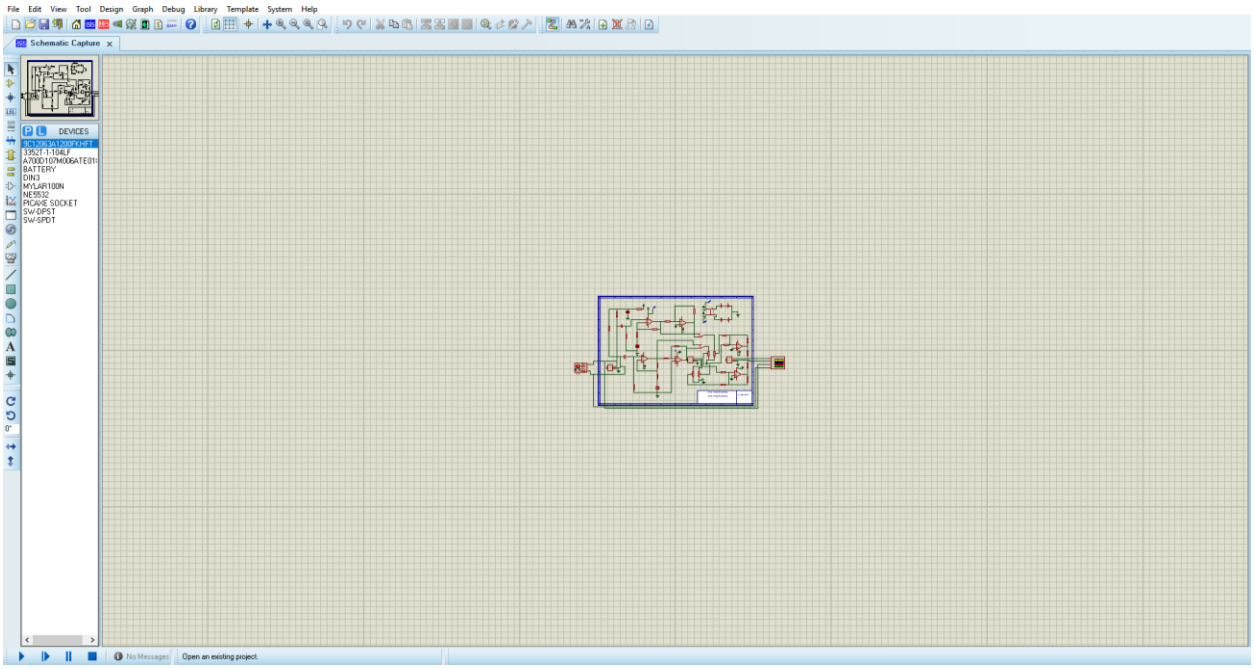


Рисунок 2.10 – Внешний вид программы ISIS

Внешний вид программа ISIS имеет, похожий на внешний вид графических редакторов, с крупной рабочей областью и панелями инструментов сверху и слева. Функциональные кнопки в нижней левой части окна программы отвечают за управление процесса симуляции. В левой части расположены различные инструменты для добавления редактирования электрической схемы.

Основной отличительной чертой данной программы является точность и удобство изучения симуляции работы собранной электрической схемы, имеется возможность подключения большого количества различных генераторов волн с последующей настройкой их параметров. При этом время в симуляции идет с такой же скоростью, как и в реальности, однако, при выполнении некоторых операций, при которых довольно сильно нагружается процессор компьютера и время в симуляции будет отличаться, тогда программа предупреждает о подобной ошибке.

Используемая в системе схема была спроектирована в пакете программ Proteus. Затем были добавлены измерительные устройства в виде вольтметров и осциллографа, а также генератор сигналов на вход для имитации работы микрофона (рисунок 2.11).

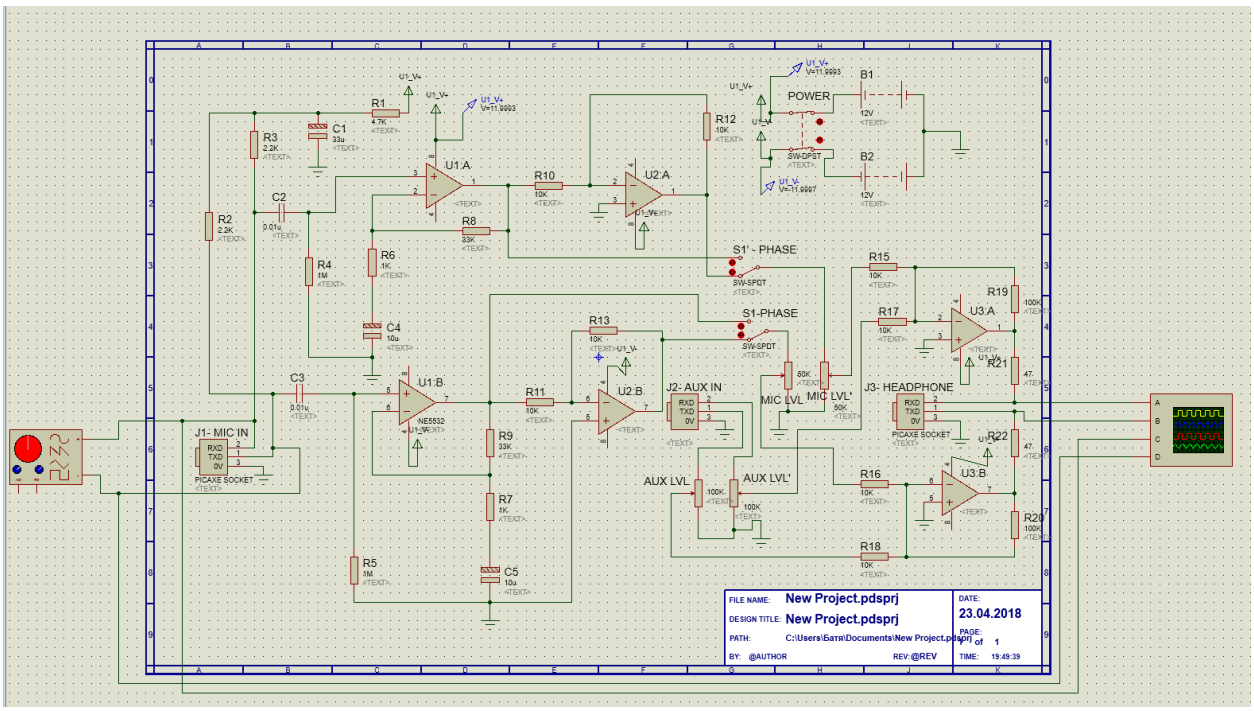


Рисунок 2.11 – Электрическая схема для симуляции

В качестве источника питания были использованы батареи, так же, как и на готовом устройстве. В программе ISIS микросхемы NE5532 представлены как два разделенных операционных усилителя, однако при построении в программе ARES они имеют единый корпус, так же, как и на реальном компоненте. Для проверки работоспособности схемы необходимо запустить симуляцию кнопкой в нижнем левом углу, при этом откроется окно настройки генератора частот и осциллографа. Тумблер выбора режима шумоподавления на электрической схеме был переведен в активное положение.

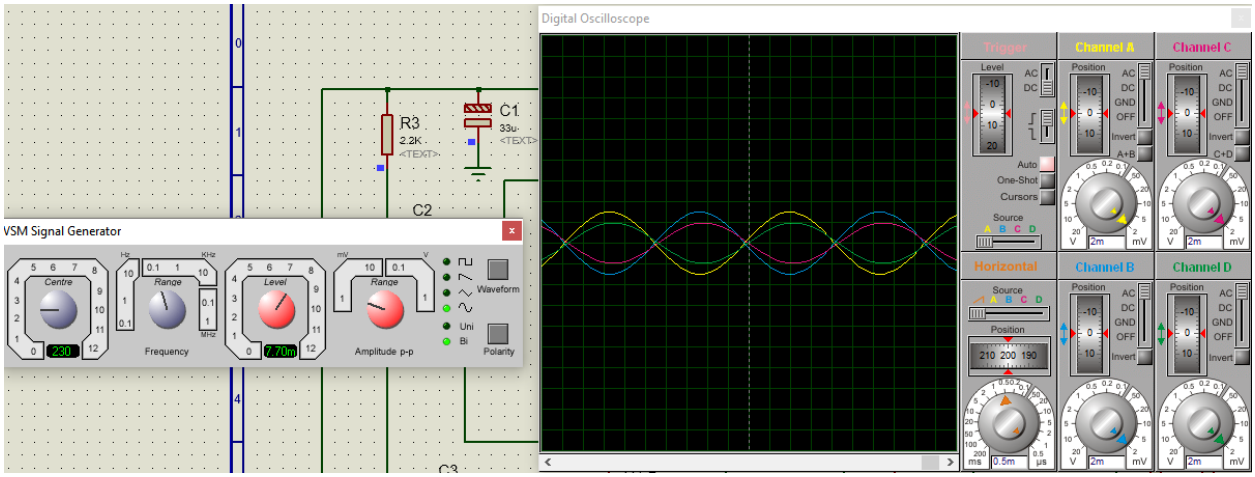


Рисунок 2.12 – Генерация синусоидальных волн при включенном инвертирующем усилителе

При генерации синусоидальных волн с включенным инвертирующим усилителем были получены две пары волн с одинаковой фазой, так как один не инвертирующий выход генератора был подключен на один выход микрофона,

а другой инвертирующий на второй выход. При этом каналу A соответствует канал D, а каналу B соответствует канал C.

Теперь, изменив положение переключателя, повторяется процедура (рисунок 2.13).

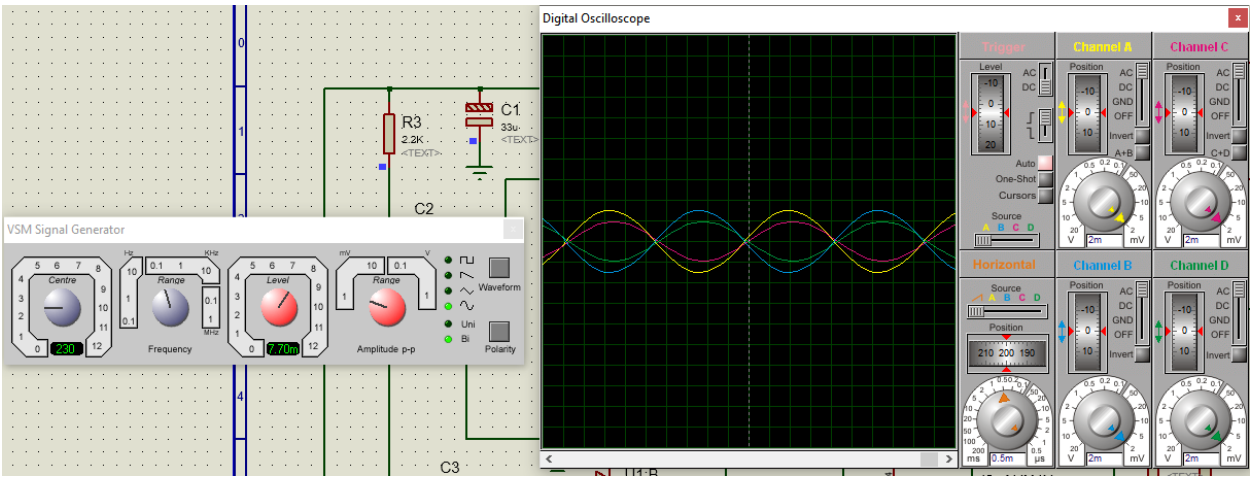


Рисунок 2.13 – Генерация синусоидальных волн при выключенном инвертирующем усилителе

Каналы поменялись местами, что и должно было произойти, однако, для лучшей наглядности, необходимо провести ту же симуляцию, но с одним каналом. Для этого необходимо отсоединить каналы B и D. Затем снова запустить симуляцию для одного канала, настройки осциллографа были оставлены прежними. (рисунок 2.14).

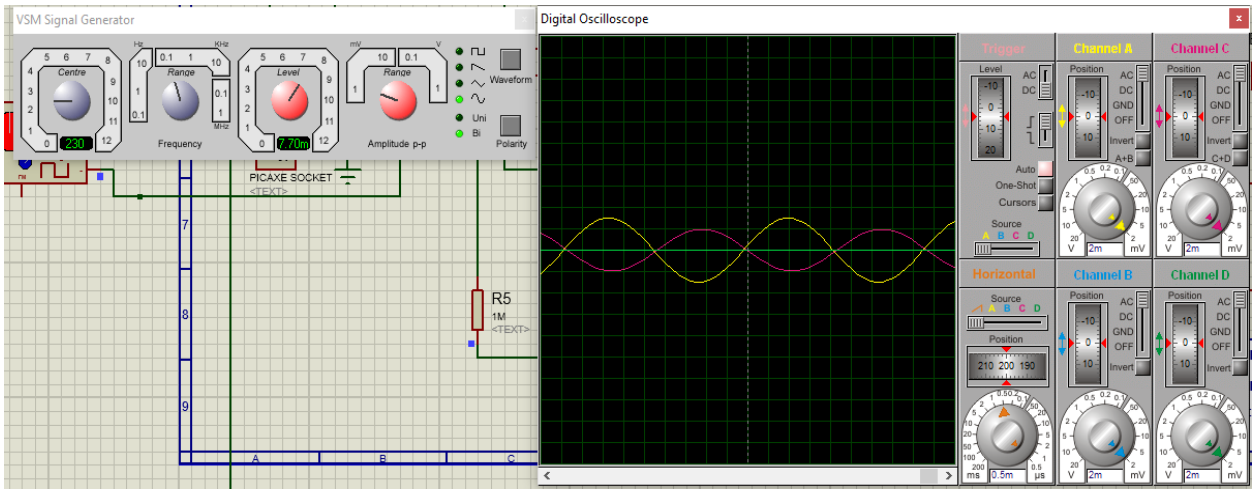


Рисунок 2.14 – Генерация синусоидальных волн на одном канале при включенном инвертирующем усилителе

Как и ожидалось, система шумоподавления работает верно, однако существует небольшая разница в амплитудах, которая настраивается с помощью заранее установленных потенциометров R14 и R23, то есть это не является отклонением от нормальной работы устройства.

Последнее, что следует проверить – это наличие сложенного сигнала со вторичного источника с сигналом отключенного шумоподавления, для этого

был добавлен генератор синусоидальной волны с амплитудой, увеличенной на 1 единицу (рисунок 2.15).

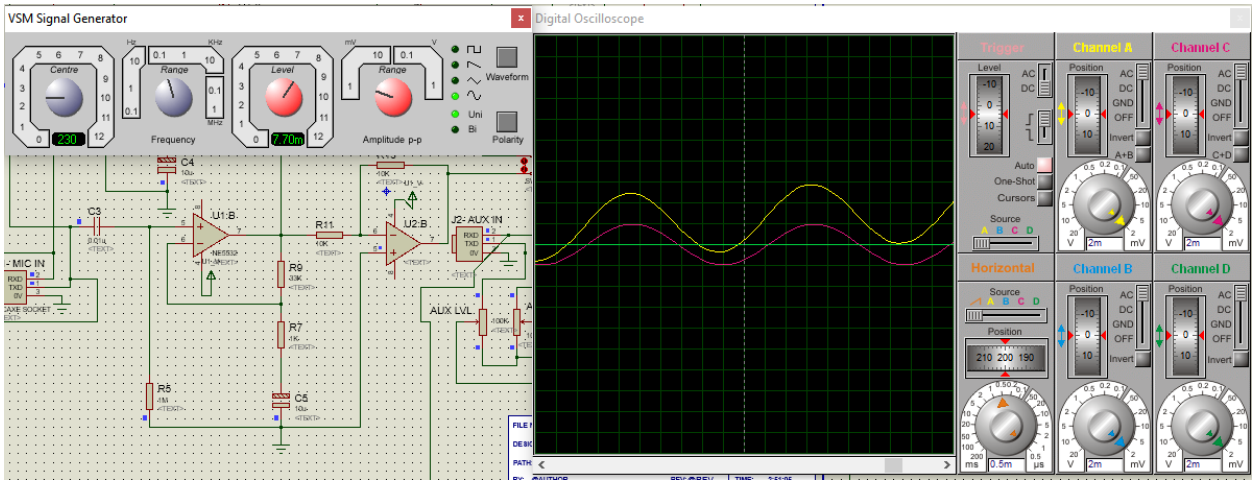


Рисунок 2.15 – Генерация синусоидальных волн с добавлением сигнала со второго входа

Сигнал с канала А увеличился ровно на одну единицу, имея такую же форму сигнала, частоту и фазу, а сложенный сигнал шума и полученного сигнала даст необходимое шумоподавление и наличие вторичного сигнала, при активном канале шумоподавления, то есть систему можно считать полностью работоспособной, что позволяет перейти к следующему этапу разработки устройства – проектирование и построение печатной платы устройства.

2.3 Выбор оборудования и практическая реализация

Целью данной части дипломного проекта является детальное описание выбранного оборудования, использованного программного обеспечения и обоснование целесообразности этого выбора.

2.3.1 Описание параметров компонентов

В описываемой системе используется большое множество компонентов, однако многие из них повторяются, образуя в конечном итоге всего несколько видов. Электрическая схема основывается на операционных усилителях NE5532 от компании Texas Instruments (рисунок 2.16). Микросхема NE5532 является сдвоенным малошумящим операционным усилителем с низким рабочим током 8мА, работающим от двухполярного источника питания с рекомендуемым напряжением ±5В … ±15В.

Данный компонент был выбран неслучайно, эти усилители обладают такими качествами, как высокий пропускная способность, низкий коэффициент искажения, высокая скорость нарастания напряжения, защитные диоды на входе, во избежание неверного подключения и защита схемы от короткого замыкания на выходе. Хоть микросхема и производится с 1979 года, она имеет отличные характеристики для построения профессиональных малошумящих усилителей на их основе.

Рисунок 2.16 – Внешний вид микросхемы NE5532

Широкий диапазон питающего напряжения NE5532, низкий уровень искажений, низкий уровень собственных шумов, повышенная скорость нарастания выходного напряжения, позволяют собрать на основе этой микросхемы разнообразные радиолюбительские устройства (рисунок 2.17).

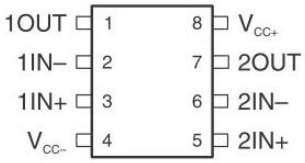


Рисунок 2.17 – Обозначение выводов NE5532

Как можно заметить эта микросхема имеет два инвертирующих и два не инвертирующих входа и выхода, что очень удобно для применения в качестве усилителей звука, потому что для каждого канала необходим свой усилитель. Согласно данным из листа характеристик, представленных производителем своем составе она имеет множество транзисторных каскадов, усиливающих сигнал (рисунок 2.18). Основным отличием компонента является его относительная доступность, в сравнении с другими представителями того же класса.

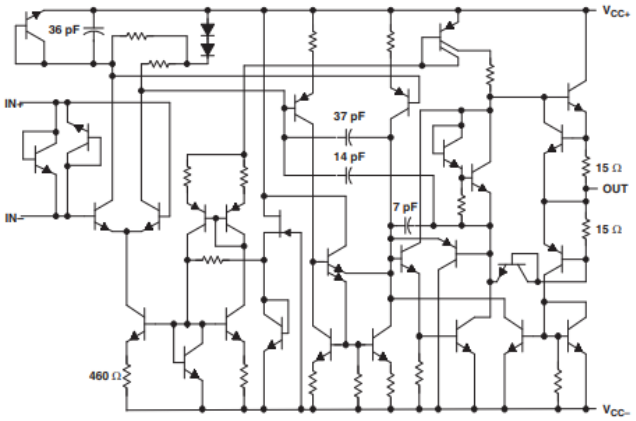


Рисунок 2.18 – Внутреннее строение NE5532

Второй по важности в системе компонент – микрофон. Их в системе должно быть два, по одному на каждый канал.

Принцип работы микрофона заключается в том, что давление звуковых колебаний воздуха, воды или твёрдого вещества действует на тонкую мембрану микрофона. В свою очередь, колебания мембраны возбуждают электрические колебания; в зависимости от типа микрофона

для этого используются явление электромагнитной индукции, изменение ёмкости конденсаторов или пьезоэлектрический эффект.

Свойства акустико-механической системы сильно зависят от того, воздействует ли звуковое давление на одну сторону диафрагмы (микрофон давления) или на обе стороны, а во втором случае от того, симметрично ли это воздействие (микрофон градиента давления) или на одну из сторон диафрагмы действуют колебания, непосредственно возбуждающие её, а на вторую — прошедшие через какое-либо механическое или акустическое сопротивление, или систему задержки времени (асимметричный микрофон градиента давления).

Большое влияние на характеристики микрофона оказывает его механоэлектрическая часть. Поэтому в качестве используемого типа микрофона выступит микрофон электретного типа. Конструкция такого микрофона схожа с конденсаторными микрофонами, который используют обкладку конденсатора в качестве неподвижного элемента и пластину из электрета в качестве источника постоянного напряжения. То есть основным принципом работы является способность некоторых материалов сохранять поверхностный заряд в течение длительного времени.

Чувствительность данных микрофонов не такая высокая как у других видов микрофонов, однако достаточная для передачи человеческого голоса или других звуков в диапазоне от 15 до 15000 Гц.

Такие микрофоны состоят из тонкой пленки гомоэлектролита, которая помещена в зазор конденсаторного микрофона, либо нанесена на одну из его обкладок. Такой метод приводит к появлению некоторого постоянного заряда на обкладках конденсатора. При смещении мембраны изменяется емкость данного конденсатора, вследствие чего появляется напряжение, соответствующее величине звукового сигнала [9].

2.3.2 Выбор метода исполнения печатной платы

Необходимость производства печатной платы обуславливается типом корпуса имеющихся операционных усилителей и большое количество вспомогательных элементов системы. В наличии имеются только операционные усилители с корпусом для поверхностного монтажа, следовательно, соединения с помощью проводов невозможны даже для платы прототипа устройства. Большое количество деталей делает невозможным сборку системы методом навесного монтажа или же использование универсальной макетной платы. Вероятность случайного короткого замыкания или ошибки при монтаже данными методами становится слишком высокой.

Множество созданных различных методов изготовления плат и их стандартов обеспечивают необходимость соответствия печатной платы с ее требуемыми характеристиками и спецификациями, также большую роль играет вид ее дальнейшей эксплуатации. У каждого метода производства есть свои преимущества и недостатки, что делает возможность выбора метода более объективной и надежной. В большинстве способов изготовления используется фольгированные материалы, такие как стеклотекстолит и подобные, а также различные их модификации и вариации [11].

Методы изготовления печатных плат определяют возможности реализации технико-экономических показателей устройств.

Существует большое количество разнообразных методов изготовления ПП, краткая характеристика наиболее используемых методов дана в таблице 2.1, и группируют их следующим образом:

а) субтрактивный (subtratio) – с удалением (обычно травлением) фольги с фольгированного диэлектрика;

б) аддитивный (additio) – с добавлением (нанесением) проводников на поверхность нефольгированного диэлектрика;

в) полуаддитивный, сочетающий преимущества первых двух;

г) комбинированный.

Таблица 2.1 – Виды методов изготовления печатных плат и их качества

Вид	Метод изготовления	Достоинства	Недостатки
Субтрактивные	Химический (позитивный и негативный)	Высокая производительность, автоматизация, низкая себестоимость	Низкая плотность, использование фольгированных материалов
	Механическое формирование зазоров	Не создает экологических проблем	Высокая себестоимость, низкая производительность
	Лазерное гравирование	Высокая производительность	Дорогое оборудование
Аддитивные	Фотоаддитивный – с толстослойным химическим меднением	Использование нефольгированных материалов, высокое разрешение	Длительность толстослойного химического меднения, плохая электрическая изоляция
	Аддитивный с использованием фоторезиста	Изоляция платы защищена фоторезистом, использование нефольгированных материалов	Длительность толстослойного химического меднения, необходимость в фоторезисте
	Нанесение токопроводящих красок или металлонаполненных паст	Использование нефольгированных материалов, не создает экологических проблем	Низкая проводимость и разрешающая способность
	Штамповка (впрессовывание проводников в подложку)		

Продолжение таблицы 2.1

Аддитивные	Метод переноса – ПАФОС (полностью аддитивное формирование отдельных слоев)	Использование нефольгированных материалов, высокая разрешающая способность, точность, сопротивление изоляции, возможность формирования проводников требуемой толщины	
Полуаддитивные	Классический полуаддитивный метод	Использование нефольгированных материалов, получение тонких проводников	Недостаточная адгезия металлизации к диэлектрической подложке
	Аддитивный с дифференциальным травлением	Высокое разрешение, меньшие расходы за счет отсутствия нанесения и удаления резиста	Стоимость электрохимических операций, сложность управления дифференциальным травлением
	Рельефные платы	В диэлектрическое основание углублены медные проводники и сквозные металлизированные отверстия	
Комбинированные	Комбинированный негативный	Сложности технологического характера при изготовлении, низкое качество изоляции и металлизированных отверстий	
	Комбинированный позитивный	Высокое разрешение, хорошая надежность изоляции, хорошая адгезия	Подтравление проводников, высокая стоимость
	Тентинг - метод	Меньшая стоимость по сравнению с предыдущими методами, экологичность	Меньшая разрешающая и трассировочная способность

Производство печатной платы для прототипов или тестовых вариантов каких любо систем в непромышленном масштабе возможно двумя способами: метод с использованием фоторезистивной пленки и метод с использованием чернил лазерного принтера.

В общих чертах эти два метода довольно схожи, так как использовать принтер, стеклотекстолит, покрытый медной фольгой и специальный раствор для вытравления меди нужно в обоих методах. Суть любого метода производства печатной платы состоит в вытравлении нужных участков меди с медной фольги на поверхности стеклотекстолита. Различие состоит лишь в том, каким образом получается необходимый рисунок на поверхности медной фольги [10].

Для использования метода с фоторезистивной пленкой требуется гораздо больше времени и материалов, но в результате получается печатная плата более высокого качества, чем у других методов. Получение готовой печатной платы данным методом начинается с изготовления шаблона разведенных дорожек электрической схемы для печати на струйном принтере. При этом для переноса изображения на фольгу требуется специальная пленка, для того, чтобы чернила легче отделялись от поверхности, на которой были напечатаны. Затем к поверхности текстолита приклеивается фоторезистивная пленка, сверху которой кладется нужный рисунок платы. Фоторезистивная пленка под воздействием ультрафиолета переносится на поверхность медной фольги в засвеченных участках, и затем, смывается раствором соды, оставляя рисунок незасвеченной области. После получения рисунка на поверхности платы, нужно избавиться от меди вокруг дорожек. Для этого используется раствор, состоящий из раствора перекиси водорода с концентрацией в 3-4%, поваренной соли и лимонной кислоты. Медь на поверхности стеклотекстолита вступает в реакцию с раствором, образуя в результате раствор светло-голубого цвета. Вся незакрытая фоторезистом медь удаляется с поверхности стеклотекстолита, оставляя лишь нужные отпечатки. Далее, получив уже практически готовую плату, поверхность отмывается от фоторезиста, открывая доступ к желаемым медным дорожкам [12].

Второй метод гораздо легче и требует меньше ресурсов для создания печатной платы. Такой метод также известен как «Лазерно-утюжная технология» или «ЛУТ». Для использования этого метода требуется только лазерный черно-белый принтер и обычный домашний утюг. Суть метода состоит в переносе чернил принтера с листа бумаги на поверхность медной фольги под действием температуры. Также, как и в первом методе чертеж печатной платы распечатывается в реальном размере на бумаге, желательно глянцевой, для более легкого отделения. Затем, для обеспечения лучшего контакта, поверхность стеклотекстолита зачищается и промывается. Распечатанный рисунок помещается на поверхность фольги, нагревается и прижимается с помощью утюга в течение 2-3 минут.

При выборе метода производства основным аргументом было наличие необходимого оборудования. Поэтому был выбран метод «ЛУТ». Хотя при выборе данного метода не получить плату отличного качества, он прост в применении и обеспечивает достаточную точность при травлении токовых дорожек.

2.3.3. Изготовление печатной платы и используемое ПО

Изготовление любой печатной платы начинается с проектирования электрической схемы устройства. В производстве проектирование печатных плат связано с огромной ответственностью и серьезностью данного процесса. Задача процесса проектирования печатных плат — это разработка межсоединений в соответствии с принципиальной электрической схемой, включающая конструирование всех ее активных цепей, которые будут функционировать должным образом в пределах любых допустимых изменений характеристик компонентов, их быстродействия, допусков на материалы, допустимых диапазонов температур, напряжения питания и производственных допусков. Завершающим этапом проектирования является подготовка всей документации и данных, которые необходимы для изготовления, сборки, испытания и устранения неисправностей печатной платы и печатного узла (платы со смонтированными компонентами). Если будет выполнена только часть этого необходимого объема проекта, то производитель и пользователи печатной платы или узла будут нести временные и финансовые потери, чтобы завершить недоделанные проектные работы. Хорошо проработанный проект должен предусматривать реальные возможности производства, выбор подходящих материалов и компонентов, которые могли бы удовлетворить требования, предъявляемые к конечному продукту. Все проекты по проектированию печатных плат обычно разрабатываются группой инженеров-проектировщиков, а не одним человеком. Для уверенности в том, что проект будет выполнять предназначенную ему функцию в определенном диапазоне внешних и внутренних условий, необходимо провести проверку правильности проектирования. Эти условия могут включать точность параметров компонента, диапазон скоростей исполнения, диапазоны рабочей температуры, условия вибрационных и ударных нагрузок, диапазоны влажности и напряжения питания. Исторически это осуществлялось конструированием макетов и прототипов, которые подвергались строгим испытаниям.

После проектирования электрической схемы проектируется изображение печатной платы, её дорожки, контакты и соединения. Для этой цели используется различное программное обеспечение. В ранее упомянутом пакете программ Proteus есть возможность выполнить обе эти задачи [13]. В программе ARES имеются все необходимые возможности для реализации поставленного задания. Однако есть один значимый недостаток при использовании этой программы, а именно локальность. ARES, точно так же, как и ISIS является частью пакета программ Proteus, которая состоит из заранее добавленных элементов и компонентов, которые можно использовать, но многие компоненты и микросхемы изменили свое представление и внешний вид, что делает построение печатных плат затруднительным. В программе имеется возможность добавления собственных элементов, но добавление большого количества элементов очень трудоемкий процесс.

Существует огромное множество ПО для проектирования печатных плат с различными возможностями. Данный сервис был выбран по причине его

большой известности в рядах радиолюбителей и большого количества пользователей, в результате чего имеется большой выбор элементов и компонентов, используемых при проектировании, а также он бесплатный. Все используемые в системе активного шумоподавления компоненты уже содержались в данном ПО и оставалось только спроектировать макет платы для последующей распечатки.

Первым шагом является перенос построенной электрической схемы в данную программу, для этого нужно заново построить всю электрическую схему в соответствующем окне. При построении важно использовать элементы, которые будут использованы в реальном устройстве, то есть указывать их номиналы и типы корпуса. В конце успешного завершения процесса логико-временного моделирования следует начинать фактическое размещение. Оно начинается с размещения компонентов проекта на поверхности печатной платы по рисункам, которые бы группировали логические функции вместе. После этого получившиеся группы компонентов располагают на рабочем поле ПП так, чтобы взаимодействующие функции оказались смежными, компоненты, создающие тепло, должным образом охлаждались, а компоненты, которые граничат с внешней схемой, оказались рядом с разъемами и т.п. Эту операцию размещения можно выполнять вручную, используя графические средства, или автоматически, с помощью системы САПР для печатных плат.

После построения схемы появляется возможность конвертации электрической схемы в печатную плату. При этом в рабочей области появляются все использованные элементы системы (рисунок 2.19).

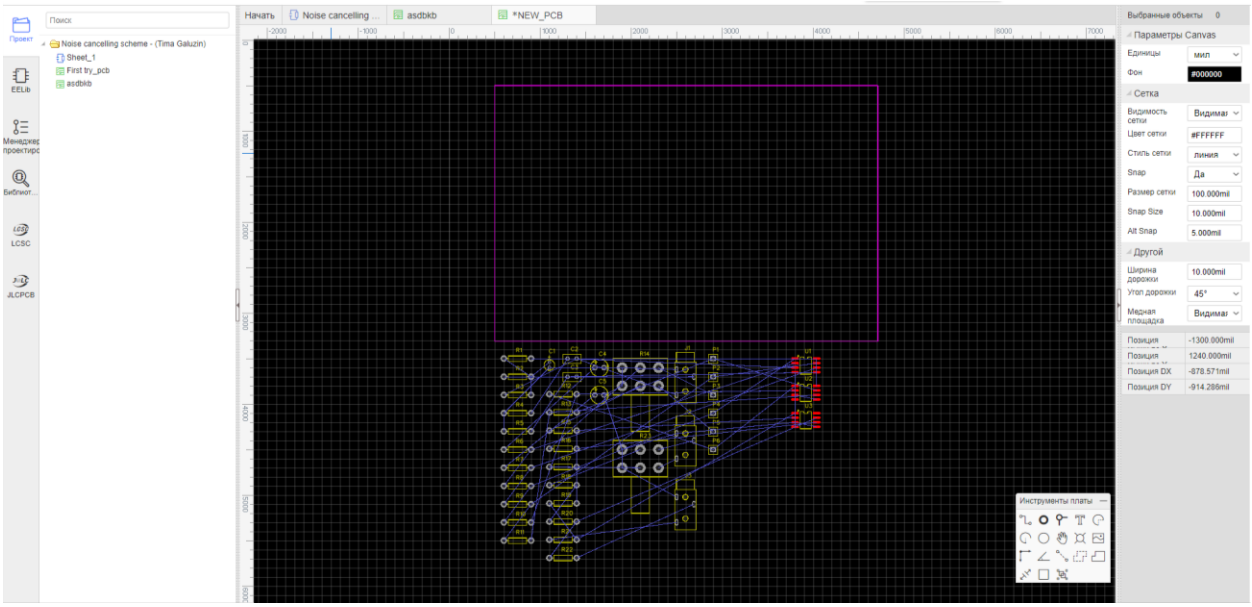


Рисунок 2.19 – Окно проектирования ПП

Окно программы имеет множество похожих элементов с программой ARES, все необходимые инструменты и функции. Компоненты системы требуется расставить на макетной плате, а затем соединить их в соответствии с электрической схемой. Для того чтобы уменьшить вероятность ошибки, все

компоненты соединены между собой прямыми линиями, также как они соединены на электрической схеме. Элементы системы расставлялись на макетной плате с условием достижения относительной компактности устройства. Данный шаг проектирования печатной платы называется разводкой печатной платы. Этот шаг включает в себя размещение всех соединений в слоях сигнальной разводки в виде медных трасс, при этом следует соблюдать правила выбора длины и шага трасс. Обычно на этом этапе используют комбинацию ручной трассировки цепей специальных сигналов и автоматическую трассировку всего остального. Ширина дорожек была выставлена в размере 0.2мм, т.к. максимальный ток системы не будет превышать 5мА. Также определенной трудностью стало выполнение корпуса микросхемы NE5532.

Имеющиеся в наличии микросхемы были выполнены в корпусе с поверхностным, а не сквозным монтажом, следовательно, они должны будут стоять, отдельно от всех других элементов системы. Конечно, желательным было бы использование двухсторонней платы, однако существует множество факторов, влияющих на качество токопроводящих дорожек при производстве двухсторонней платы, некоторые из требований при исполнении не могут быть исполнены в данных технических условиях и обеспечении. Другими словами, при проектировании платы, необходимо указать, что монтирование будет производится с нижнего слоя, а выполнение дорожек на верхнем слое. Самыми большими элементами системы стали потенциометры. Внешний вид микросхемы получился достаточно эстетичным и компактным (рисунок 2.20).

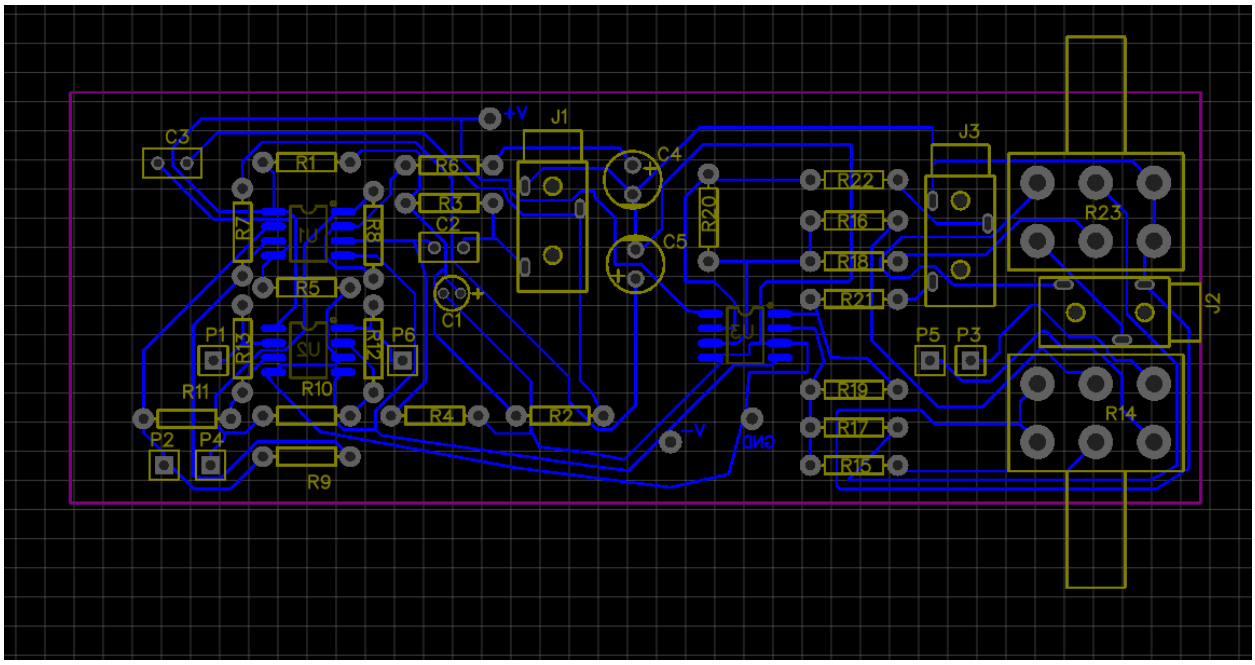


Рисунок 2.20 – Внешний вид разведенной ПП

В конечном исполнении было решено не использовать переключатели режима шумоподавления, так как они занимают много места на поверхности платы, вместо этого были оставлены контакты для подключения проводов,

которые в последующем можно вывести на переключатель. Так же оставлены контакты для подключения питания.

Питание операционных усилителей часто двухполюсное, поэтому для обеспечения питания требуется не два, а три контакта: положительный, отрицательный и общий контакт.

Следующий этап изготовления платы – печать спроектированного изображения на бумаге. В качестве лучшего варианта была использована глянцевая фотобумага. Рисунок платы экспортируется в черно-белом формате на ПК. Настройки печати должны быть выставлены на максимальное качество изображения, цвет печати максимально темный. Затем производится печать в масштабе 1:1.

Полученное изображение располагается на заранее подготовленной поверхности медной фольги пластины стеклотекстолита. Нагревается и тщательно разглаживается. Температура при переносе изображения составляет примерно 200° С. Тонер принтера при этом прилипает достаточно сильно к поверхности меди, что дает возможность отделить чернила от листа бумаги. Получившийся рисунок тщательно проверяется на качество перевода и наличие непереведенных участков. При обнаружении таких недостатков недостающие элементы наносятся с помощью перманентного маркера вручную.

После того, как чернила остались на поверхности меди можно переходить к химической обработке ПП. Травление производится в специальном растворе перекиси водорода, лимонной кислоты и поваренной соли в соотношении 100мл перекиси водорода, 30 гр. лимонной кислоты и 5 гр. поваренной соли на 100 см^2 меди с толщиной 35мкм.

Производимая плата имеет размеры 9.5х3.5 см, таким образом нужно в 3 раза меньше каждого из компонентов раствора. Травление производится в течение 15-20 минут с выделением пузырьков водорода и характерным для меди зелено-голубым осадком, который сразу же растворяется в растворе.

Основные уравнения реакций при химической обработке ПП имеют вид:

$$3Cu + 2C_6H_8O_7 \rightarrow Cu_3(C_6H_5O_7)_2 + 3H_2.$$

Раствор, оставшийся после обработки ПП имеет светло-голубой цвет именно из-за гидроксида меди, который в дальнейшем кристаллизуется, такой раствор токсичен, как и большинство соединений меди, но токсичность довольно низкая.

$$2Cu + 6H_2O_2 \rightarrow 2Cu(OH)_2 + H_2 + 2O_2 + 2H_2O.$$

После того, как вся медь с платы вытравится можно ее доставать и удалять слой чернил, в результате получается готовая для использования печатная плата достаточного для использования качества.

Для монтажа элементов в полученную печатную плату необходимо просверлить отверстия в специально выделенных для этого местах. Некоторые из отверстий имеют диаметр менее 1мм, из-за чего могут возникнуть некоторые

трудности. Получившиеся на плате токопроводящие дорожки не отличаются высокой надежностью, следовательно, они требуют дополнительной обработки и покрытия слоем припоя.

После монтажа всех элементов можно приступать к тестированию схемы в реальных условиях. Очень важным моментом при монтаже электрокомпонентов является проверка соседних дорожек и контактов на наличие коротких замыканий, так как дорожки довольно маленькие и расположены очень близко друг к другу не исключено возникновение нежелательного контакта. Данную проверку можно произвести с помощью авометра в режиме проверки на нулевое сопротивление. Электролитические конденсаторы устанавливаются с учетом полярности. В схеме были использованы различные виды конденсаторов, как пленочные, так и электролитические.

Готовая печатная плата с уже установленными компонентами представлена на рисунке 2.21. Так как произведенная схема является прототипом в единственном экземпляре многие проверки и стандарты были упрощены и упразднены, однако при проектировании печатных плат в производственном масштабе должны быть учтены все детали и стандарты проектирования такие как: проверка целостности сигналов на печатной плате и волновое сопротивление проводников, трассировка сигнальных соединении, имитация различных условий использования и другие.

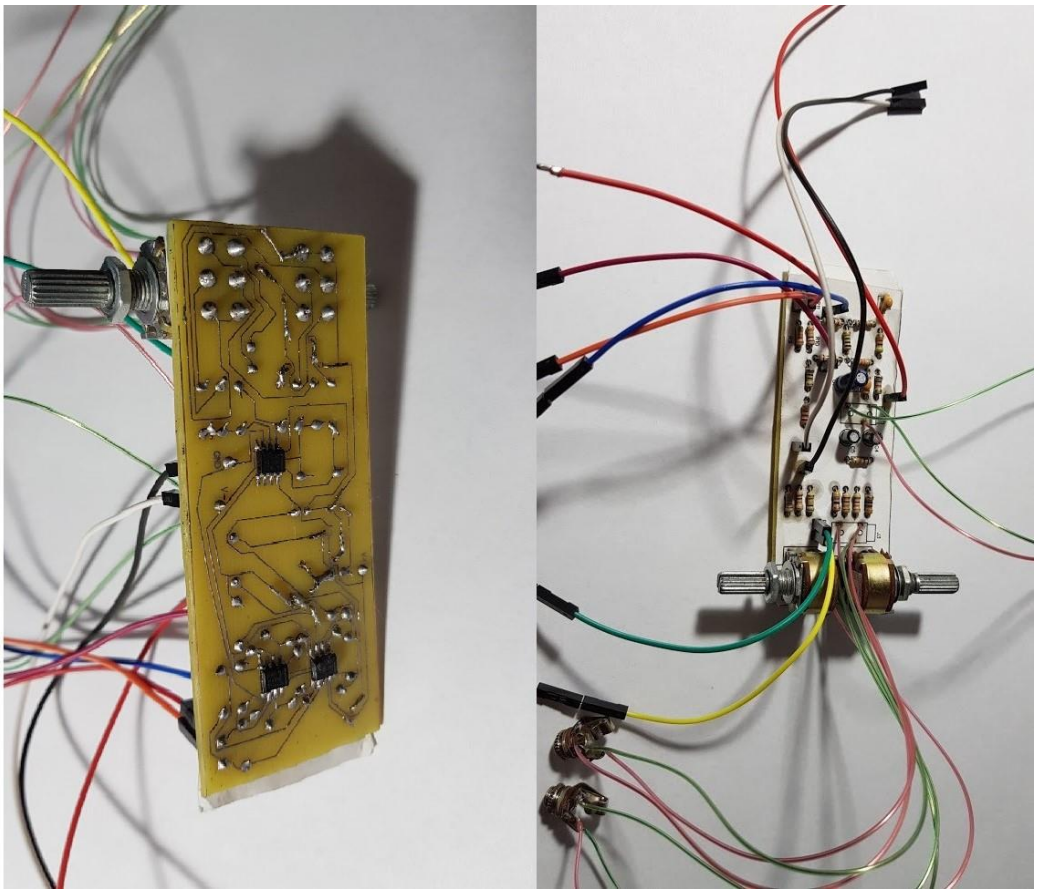


Рисунок 2.21 – Вид готового прототипа печатной платы

2.3.4 Расчет надежности проектируемого устройства

Каждый из элементов системы связан с другими элементами, следовательно, при повреждении или выхода из строя какого-либо из компонентов вся система выйдет из строя или не будет обеспечивать выполнение заявленных функций. Чтобы определить параметры надежности системы требуется знать интенсивность отказов каждого элемента системы, которая зависит от интенсивности режима работы оборудования, его рабочей температуры, влажности и друг факторов. Интенсивность отказа элементов приведены в специальной справочной литературе [5]. В таблице приведены данные отказов для каждого из элементов системы.

Таблица 2.2 – Интенсивность отказов компонентов системы

Наименование	Количество	Интенсивность отказов λэ, 10^{-7}, 1/ч
Операционный усилитель	3	0,081
Резисторы	21	0,07
Конденсаторы	5	0,18
Потенциометры	2	0,25
Аудио-разъемы	3	0,06
Пайка	100	0,01
Микрофоны	2	0,32

При определении показателей надежности системы рассчитывается средняя наработка на отказ (Тср) и вероятность безотказной работы системы (P(t)) [14]. Чтобы рассчитать данные показатели необходимо вычислить интенсивность отказов всей системы, путем суммирования интенсивности отказов всех элементов с учетом коэффициента эксплуатации:

$$\lambda_{сис} = \sum \lambda_э \times К_э, \qquad (2.5)$$

где $К_э$ – коэффициент эксплуатации.

Для определения коэффициента эксплуатации используется формула:

$$К_э = К_1 \times К_2 \times К_3, \qquad (2.6)$$

где $К_1$ – условия эксплуатации (вне помещения $К_1$=4);

$К_2$ – коэффициент влияния вибрации (для переносного устройства $К_2$=3);

$К_3$ – коэффициент влияния атмосферного давления (вне помещения $К_3$=2,3).

Коэффициент эксплуатации с учетом всех условий равен:

$$К_э = 4 \times 3 \times 2{,}3 = 27{,}6.$$

Далее можно вычислить интенсивность отказов системы, состоящей из всех элементов:

$$\lambda_{сис} = 4{,}933 \times 27{,}6 = 136{,}15 \times 10^{-7},\ 1/ч.,$$

После нахождения интенсивности отказов системы можно определить среднюю наработку устройства на отказ:

$$T_{ср} = (\lambda_{сис})^{-1} = (136{,}15 \times 10^{-7})^{-1} = 73448\ ч.,$$

Таким образом вероятность безотказной работы в течение года (t = 8760 часов) вычисляется по формуле:

$$P(t) = e\text{-}\ \lambda_{сис} \times t = 2.72^{-(136{,}15 \times 10\text{-}7 \times 8760)} = 0{,}88.$$

Вероятность отказа при полученном значении безотказной работы равна:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0{,}88 = 0{,}12.$$

В таблице приведены полученные результаты надежности для системы.

Таблица 2.3 – Результаты проведенного исследования надежности

Наименование	Обозначение	Результат
Интенсивность отказов системы	λ сис	136.15×10^{-7}, 1/ч.
Средняя наработка на отказ	Тср	73448 ч.
Вероятность безотказной работы	P(t)	0,88
Вероятность отказа	Q(t)	0,12

3 Безопасность жизнедеятельности

Так как одно из применений разрабатываемого устройства – это уменьшение уровня звукового давления низских частот, достигающего органов слуха в крупных помещениях, таких как авиа и ж/д станции. Расчет имеющегося звукового давления будет произведен на примере газовой турбины, обеспечивающей звуковое давление по большей мере при низких частотах, а также будет расчитан требуемый уровень звукового давления и разница между этими значениями для определения применимости устройства в подобных условиях.

3.1 Акустический расчет звукового давления в помещении

Для акустического расчета шумовых источников, присутствующих внутри производственного помещения, выбираем одну расчетную точку (РТ), расположенную на высоте 1,2- 1,5 м от пола [16].

По исходным данным имеем 4 источника шума. Они были расположены в следующем порядке:

- ИШ1 и ИШ2 находятся от РТ на одинаковом расстоянии на поверхности стены;
- ИШ3 располагается в пространстве;
- ИШ4 находится в двухгранном углу.

Октавные уровни звукового давления в дБ в расчетных точках на рабочих местах помещений, в которых несколько источников шума следует определять следующим образом:

$$L = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{\Delta_i\lambda_i\Phi_{ш}}{S_i} + \frac{4\psi}{B}\sum_{i=1}^{n}\Delta_i\right), \qquad (3.1)$$

где m – количество источников шума, ближайших к расчетной точке, (т.е. для которых выполняется условие $r_i < 5r_{min}$, где r_{min} – расстояние от расчетной точки до акустического центра источника);

λ_i – коэффициент учитывающий влияние ближнего акустического поля и принимаемый в зависимости от отношения расстояния r в метрах между акустическим центром источника и РТ к максимальным габаритным размерам l_{max} в метрах ИШ, определяется по графику (рисунок 3.1);

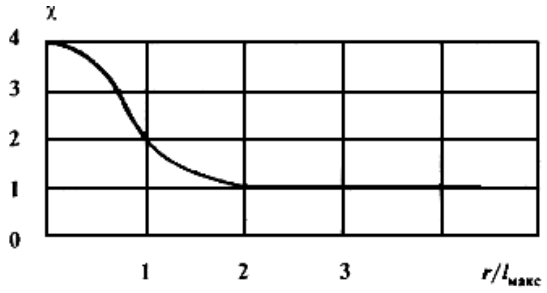


Рисунок 3.1 – График для определения коэффициента λ

ψ – коэффициент, учитывающий нарушение диффузии звукового поля в помещении и определяемый в отношении от отношения постоянной помещения к площади ограждающих поверхностей $B/S_{огр}$, значение коэффициента находят по пересечению на графике (рисунок 3.2);

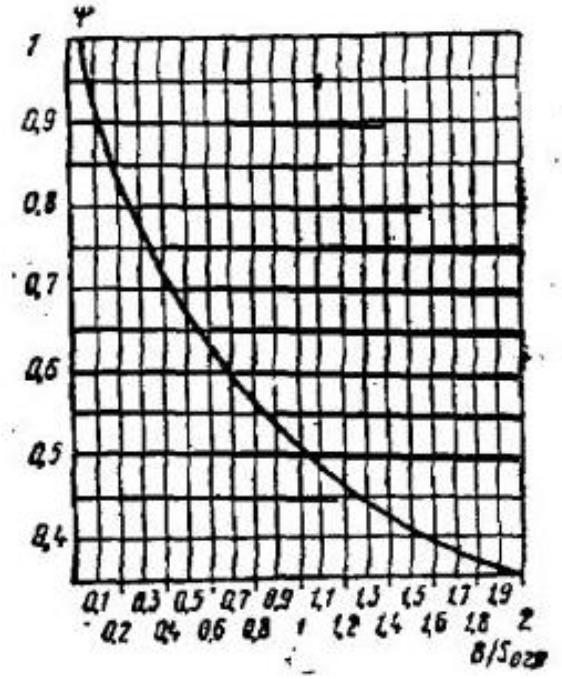


Рисунок 3.2 - График для определения ψ

n – общее количество ИШ в помещении;

$\Delta_i = 10^{0,1L_{pi}}$, L_{pi} – октавный уровень звуковой мощности в дБ, создаваемый i-тым источником шума;

Ф – фактор направленности ИШ, безразмерная величина, определяется по опытным данным, для ИШ с равномерным излучением звука = 1;

S – площадь, м^2, воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей источник и проходящей через расчетную точку;

B – постоянная помещения, м^2, определяется по формуле:

$$B = \mu \times B_{1000}, \qquad (3.2)$$

где B_{1000}– постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000Гц, м^2 определяется в зависимости от объема V (м^3) и типа помещения V/20;

μ – частотный множитель (таблица 3.2).

Таблица 3.1 – Значения частотного множителя μ

Объем помещения, м^3	Частотный множитель μ на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
V = 200…1000	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2

После расчета каждого октавного уровня звукового давления, произведем расчет требуемого снижения шума. Если в расчетную точку одновременно попадает шум от нескольких одинаковых источников шума, то снижение уровней звукового давления $\Delta L_{трi}$ в расчетной точке определяют по формуле:

$$\Delta L_{трi} = L_i - L_н + 10\lg n, \quad (3.3)$$

где L_i – ожидаемый уровень звукового давления, создаваемый рассматриваемыми ИШ в РТ;

$L_н$ – допустимый уровень звукового давления в РТ (СНиП 23-03-2003);

n – общее количество принимаемых в расчет ИШ.

Таблица 3.2 – Нормированные уровни шума на рабочих местах

Наименование помещений	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами октавных полосах, Гц							
Рабочие зоны в производственных помещениях	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	99	92	86	83	80	78	76	74

Таблица 3.3 - Октавные уровни звукового давления в дБ, L_{pi}

Наименование агрегата	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
Газовая турбина	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	70	69	72	73	76	80	80	75

Вычисляется октавный уровень звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 63 Гц, посредством формулы (3.1).

$$L_{63} = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{\Delta_{63}\lambda_i\Phi_ш}{S_i} + \frac{4\psi}{B_{63}}\sum_{i=1}^{n}\Delta_{63}\right).$$

Сначала проверяется, все ли ИШ удовлетворяют условию $r_i<5r_{min}$, при r_{min} = 5м:

$$\begin{cases} 5 < 5\times 5 \text{ выполняется;} \\ 6{,}5 < 5\times 5 \text{ выполняется;} \\ 7 < 5\times 5 \text{ выполняется.} \end{cases}$$

Из этого следует, что рассчитываются все ИШ.

Согласно таблице 4 L_{pi} в 63 октавной полосе равно 70Гц. Следовательно, $\Delta_{63} = 10^{0,1\times 70} = 10^7$.

λ_i определятся из отношения r_i/l_{max}, при заданном l_{max}:

$\lambda_1 = 5/1.4 = 3{,}6;$
$\lambda_2 = 6{,}5/1.4 = 4{,}6;$
$\lambda_3 = 7/1.4 = 5.$
т.к. все величины ≥2, поэтому $\lambda_i = 1$;

Фактор направленности источников шума $Ф_ш$ примем равным 1, т.к. представленный вид оборудования производит равномерное излучение звука[15].

Рассчитывается S_i для каждого ИШ. Для источников шума, у которых выполняется условие $2*l_{max} < r$, S_i следует принимать согласно расположению. Проверяется первое условие:

$3 < 5;$
$3 < 6{,}5;$
$3 < 7.$
условие выполняется для все ИШ, следовательно S_i:

$ИШ_3$ находится в пространстве, => $S_1 = 4\pi r_1^2 = 4\pi 5^2 = 314{,}2$ м^2;

$ИШ_4$ находится в двухгранном углу, образованном ограждающими конструкциями, => $S_2 = \pi r_2^2 = \pi 7^2 = 153{,}9$ м^2;

$ИШ_1$ и $ИШ_2$ находятся на поверхности стены, => $S_{3,4} = 2\pi r_3^2 = 2\pi 6{,}5^2 = 265{,}5$ м^2.

ψ находится по пересечению на графике, от отношения постоянной помещения к площади ограждающих поверхностей $B/S_{огр}$. Значение $B/S_{огр}$ берутся из исходных данных, $B/S_{огр} = 0{,}2$. В данной точке (на рисунке 3.2) графика значение ψ = 0,83.

Для вычисления постоянной помещения B используется по формула (3.2), где $B_{1000}=V/20$. Объем производственного помещения, согласно исходным данным, равен 800 м^3. Значит постоянная помещения на среднегеометрической частоте 1000Гц $B_{1000}=\frac{800}{20} = 40$ м^2.

Частотный множитель μ определяется по таблице 3.2. $\mu_{63} = 0{,}65$.

$$B = \mu_{63} \cdot B_{1000} = 0{,}65 \times 40 = 26 \text{ м}^2.$$

Теперь, зная все неизвестные значения уравнения (3.1), имеется:

$$L_{63} = 10\lg\left(\frac{10^7 \times 1 \times 1}{314{,}2} + \frac{10^7 \times 1 \times 1}{153{,}9} + \frac{10^7 \times 1 \times 1}{265{,}5} + \frac{4 \times 0{,}83}{26} \cdot 4 \times 10^7\right) =$$

$$= 10\lg(5461883) = 67{,}2 \text{ дБ}.$$

Вычисляется необходимое снижение звука по формуле 3.3. Для этого необходимо найти его по таблице 3.3 для среднегеометрической частотой октавной полосы 63 Гц.

$$\Delta L_{тр63} = 67{,}2 - 99 + 10\lg 3 = -27.23 \text{ дБ}.$$

Расчёт октавного уровня звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 125 Гц.

Согласно таблице 3.3, Lpi в 125 октавной полосе равно 69Гц. Следовательно, $\Delta_{125} = 10^{0,1 \cdot 69} = 10^{6,9}$.Частотный множитель $\mu_{125} = 0,62$.

$$B = \mu_{125} \times \mathrm{B}_{1000} = 0,62 \times 40 = 24,8 \text{ м}^2;$$

$$L_{125} = 10\lg\left(\frac{10^{6,9} \times 1 \times 1}{314,2} + \frac{10^{6,9} \times 1 \times 1}{153,9} + \frac{10^{6,9} \times 1 \times 1}{265,5} + \frac{4 \times 0,83}{24,8} \times 4 \times 10^{6,9}\right) =$$

$$= 10\lg(4360312) = 67,39 \text{ дБ}.$$

Вычисление необходимого снижения звука при $L_{\text{н}}$ =92:

$$\Delta\mathrm{L}_{\text{тр}125} = 67,37 - 92 + 10\lg 3 = -19,9 \text{ дБ}.$$

Расчёт октавного уровня звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 250 Гц.

L_{pi} в 250 октавной полосе равно 72 Гц. Следовательно:

$$\Delta_{125} = 10^{0,1 \times 72} = 10^{7,2}.$$

При частотном множителе $\mu_{250} = 0,64$ постоянная помещения и уровень звукового давления равны:

$$B = \mu_{250} \times \mathrm{B}_{1000} = 0,64 \times 40 = 25,6 \text{ м}^2;$$

$$L_{250} = 10\lg\left(\frac{10^{7,2} \times 1 \times 1}{314,2} + \frac{10^{7,2} \times 1 \times 1}{153,9} + \frac{10^{7,2} \times 1 \times 1}{265,5} + \frac{4 \times 0,83}{25.6} \times 4 \times 10^{7,2}\right) =$$

$$= 10\lg(8434752) = 69,26 \text{ дБ}.$$

Вычисление необходимого снижения звука при $L_{\text{н}}$ =86:

$$\Delta\mathrm{L}_{\text{тр}250} = 69,26 - 86 + 10\lg 3 = -11.97 \text{ дБ}.$$

1. Расчёт октавного уровня звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 500Гц.

L_{pi} в 500 октавной полосе равно 73 Гц. Следовательно, $\Delta_{500} = 10^{0,1 \times 73} = 10^{7,3}$.

При частотном множителе $\mu_{500} = 0,75$ постоянная помещения и уровень звукового давления равны:

$$B = \mu_{500} \times \mathrm{B}_{1000} = 0,75 \times 40 = 30 \text{ м}^2;$$

$$L_{500} = 10\lg\left(\frac{10^{7,3}\times 1\times 1}{314,2} + \frac{10^{7,3}\times 1\times 1}{153,9} + \frac{10^{7,3}\times 1\times 1}{265,5} + \frac{4\times 0,83}{30}\times 4\times 10^{7,3}\right) =$$

$$= 10\lg\,(9100662) = 69,59 \text{ дБ}.$$

Вычисление необходимого снижения звука при $L_н$ =83:

$$\Delta L_{тр500} = 69,59 - 83 + 10\lg 3 = -8.64 \text{ дБ}.$$

2. Расчёт октавного уровня звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 1000Гц.

L_{pi} в 1000 октавной полосе равно 76 Гц. Следовательно, $\Delta_{1000} = 10^{0,1\times 76} = 10^{7,6}$.

При частотном множителе $\mu_{1000} = 1$ постоянная помещения и уровень звукового давления равны:

$$B = \mu_{1000}\times B_{1000} = 1\times 40 = 40 \text{ м}^2;$$

$$L_{1000} = 10\lg\left(\frac{10^{7,6}\times 1\times 1}{314,2} + \frac{10^{7,6}\times 1\times 1}{153,9} + \frac{10^{7,6}\times 1\times 1}{265,5} + \frac{4\times 0,83}{40}\times 4\times 10^{7,6}\right)$$

$$= 10\lg\,(13752488) = 71,38 \text{ дБ}.$$

Вычисление необходимого снижения звука при $L_н$ =80:

$$\Delta L_{тр1000} = 71,38 - 80 + 10\lg 3 = -3.9 \text{ дБ}.$$

3. Расчёт октавного уровня звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 2000Гц.

L_{pi} в 2000 октавной полосе равно 80 Гц. Следовательно, $\Delta_{2000} = 10^{0,1\cdot 80} = 10^{8}$.

При частотном множителе $\mu_{2000} = 1,5$ постоянная помещения и уровень звукового давления равны:

$$B = \mu_{2000}\times B_{1000} = 1,5\times 40 = 60 \text{м}^2;$$

$$L_{2000} = 10\lg\left(\frac{10^{8}\times 1\times 1}{314,2} + \frac{10^{8}\times 1\times 1}{153,9} + \frac{10^{8}\times 1\times 1}{265,5} + \frac{4\times 0,83}{60}\times 4\times 10^{8}\right) =$$

$$= 10\lg\,(23478022) = 73.7 \text{ дБ}.$$

Вычисление необходимого снижения звука при $L_н$ =78:

$$\Delta L_{тр2000} = 73.7 - 78 + 10\lg 4 = 0.47 \text{дБ}.$$

4. Расчёт октавного уровня звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 4000Гц.

L_{pi} в 4000 октавной полосе равно 80 Гц. Следовательно, $\Delta_{4000} = 10^{0,1 \cdot 80} = 10^{8}$.

При частотном множителе $\mu_{4000} = 2,4$ постоянная помещения и уровень звукового давления равны:

$$B = \mu_{4000} \times \mathrm{B}_{1000} = 2,4 \times 40 = 96 \text{ м}^2;$$

$$L_{2000} = 10 \lg \left(\frac{10^8 \times 1 \times 1}{314,2} + \frac{10^8 \times 1 \times 1}{153,9} + \frac{10^8 \times 1 \times 1}{265,5} + \frac{4 \times 0,83}{96} \times 4 \times 10^8 \right) =$$

$$= 10\lg (15178022) = 71.81 \text{ дБ}.$$

Вычисление необходимого снижения звука при $L_{\text{н}}$ =76:

$$\Delta \mathrm{L}_{\text{тр}4000} = 71.81 - 76 + 10 \lg 3 = 0.58 \text{ дБ}.$$

5. Расчёт октавного уровня звукового давления в РТ со среднегеометрической частотой октавной полосы 8000Гц.

L_{pi} в 8000 октавной полосе равно 75 Гц. Следовательно, $\Delta_{8000} = 10^{0,1 \cdot 75} = 10^{7,5}$.

При частотном множителе $\mu_{8000} = 4,2$ постоянная помещения и уровень звукового давления равны:

$$B = \mu_{8000} \times \mathrm{B}_{1000} = 4,2 \times 40 = 168 \text{ м}^2;$$

$$L_{8000} = 10 \lg \left(\frac{10^{7.5} \times 1 \times 1}{314,2} + \frac{10^{7.5} \times 1 \times 1}{153,9} + \frac{10^{7.5} \times 1 \times 1}{265,5} + \frac{4 \times 0,83}{168} \times 4 \times 10^{7.5} \right)$$

$$= 10 \lg (4799712) = 66.8 \text{ дБ}.$$

Вычисление необходимого снижения звука при $L_{\text{н}}$ =74:

$$\Delta \mathrm{L}_{\text{тр}8000} = 66.8 - 74 + 10 \lg 3 = -2.4 \text{ дБ}.$$

3.2 Расчет снижения уровня акустического давления

Расчёт мероприятия для снижения шума. Для снижения шума в производственных помещениях применяют различные методы: уменьшение уровня шума в источнике его возникновения, звукопоглощение и звукоизоляция, установка глушителей шума, рациональное размещение оборудования, применение средств индивидуальной защиты.

Устройство дипломного проекта построено на основе глушителя шума, следовательно, в качестве мероприятия будет использован глушитель шума.

Ослабление шума с помощью глушителя шума осуществляют средствами электронных компонентов. Согласно СНиП РК 2.04-03-2011 «Защита от шума» требуемую изоляцию воздушного шума в дБ следует определять по формуле (3.4):

$$R_{\text{тр}i} = L_{\text{ш}} - 10\lg B + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n. \qquad (3.4)$$

1. Рассчитывается ослабление шума для первого октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}63} = L_{63} - 10\lg B_{63} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 67.2 - 10\lg 26 + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 99 + 10\lg 3 =$$

$$= -12.52 \text{ дБ.}$$

2. Рассчитывается ослабление шума для второго октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}125} = L_{125} - 10\lg B_{125} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 67.39 - 10\lg 24.8 + + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 92 + 10\lg 3 =$$

$$= -5.13 \text{ дБ.}$$

3. Рассчитывается ослабление шума для третьего октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}250} = L_{125} - 10\lg B_{125} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 69.26 - 10\lg 25.6 + + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 86 + 10\lg 3 =$$

$$= 2.6 \text{ дБ.}$$

4. Рассчитывается ослабление шума для четвертого октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}500} = L_{500} - 10\lg B_{500} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 69.59 - 10\lg 30 + + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 83 + 10\lg 3 =$$

$$= 5.25 \text{ дБ.}$$

5. Рассчитывается ослабление шума для пятого октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}1000} = L_{1000} - 10\lg B_{1000} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 71.38 - 10\lg 40 + + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 80 + 10\lg 3 =$$

$$= 8.78 \text{ дБ.}$$

6. Рассчитывается ослабление шума для шестого октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}2000} = L_{2000} - 10\lg B_{2000} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 73.7 - 10\lg 60 + + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 78 + 10\lg 4 =$$

$$= 11.34 \text{ дБ.}$$

7. Рассчитывается ослабление шума для седьмого октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}4000} = L_{4000} - 10\lg B_{4000} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 71.81 - 10\lg 96 + + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 76 + 10\lg 4 =$$

$$= 9.41 \text{ дБ.}$$

8. Рассчитывается ослабление шума для восьмого октавного уровня звукового давления:

$$R_{\text{тр}8000} = L_{8000} - 10\lg B_{8000} + 10\lg\sum_{i=1}^{m} S_i - L_{\text{н}} + 10\lg n =$$

$$= 66.8 - 10\lg 168 + + 10\lg(314.2 + 153.9 + 265.5) - 74 + 10\lg 4 =$$

$$= 3.97 \text{ дБ.}$$

Согласно СНиП РК 2.04-03-2011 рассчитанные данные выполняют требования для системы звукоизоляции [18]. По результатам необходимого уровня ослабления шума можно сделать вывод, что система, разработанная в данном дипломном проекте, справится с рассчитанным уровнем звукового давления, обеспечивая безопасную среду для работников с подобными условиями труда.

4 Технико-экономическое обоснование

В данной дипломной работе было проведено исследование по разработке системы для активного шумоподавления внешних шумов. Непосредственно в этой части будет произведен расчет затрат на произведение научно-исследовательской работы по описанному устройству.

4.1 Описание устройства

Множество окружающих нас вещей могут создавать определенный шум, который негативно влияет на самочувствие людей, а громкий шум даже может вызывать опасные для здоровья последствия. Проектируемое устройство помогает значительно уменьшить шум, который можно услышать. Главным преимуществом представленной системы является ее универсальность и доступность.

4.2 Финансовый план

В этой главе будет произведен расчет затрат на проведение научно-исследовательской работы, которая включает в себя расходы на заработную плату, начисления на заработную плату, амортизацию и прочие расходы. Для этого необходимо выполнить расчет затрат, которые включают в себя фонд оплаты труда, отчисления на социальный налог, амортизационные отчисления, затраты на материалы и комплектующие, а также накладные расходы, которые можно найти по формуле:

$$C = Ф_{ОТ} + Н_{С} + А + Р_{М} + Р_{Н}, \quad (4.1)$$

где $Ф_{ОТ}$ - фонд оплаты труда;

$Н_{С}$ - отчисления на социальный налог;

А - амортизационные отчисления;

$Р_{М}$ - расходы на материалы и комплектующие;

$Р_{Н}$ - накладные расходы (до 50% от всех затрат).

При расчете трудоемкости в научно-исследовательских работах необходимо использовать метод прямого счета трудоемкости, вследствие того, что трудовые затраты часто составляют основную часть их стоимости [17].

Длительность цикла (будем принимать в днях) при любом виде работ укрупнено можно определить по формуле:

$$t_n = \frac{T}{qn \times 6K}, \quad (4.2)$$

где Т - трудоемкость этапа, норма-час;

q_n - количество исполнителей по этапу;

6 - продолжительность рабочего дня, час;

К - коэффициент выполнения норм времени (К = 1,1).

Величина t_n, будет округлена до целых дней. Имея информацию по длительности цикла, позднее можно составить график выполнения всех работ.

Таблица 4.1 – Циклы научно исследовательской работы

Стадия жизненного цикла	Численность персонала	Уровень классификации
Проектирование модели системы шумоподавления в Proteus	1	1,1
Тестирование и редактирование модели	1	1,1
Составление документации	1	1,1

Длительность цикла проектирования модели шумоподавления (t_{nM}) состоит из вычислений по формуле (4.2):

а) длительность цикла при составлении технического задания:

$$t_{n1}=\frac{24}{1\times6\times1,1}=4 \text{ (дней)};$$

б) длительность цикла при исследовании видов построения модели:

$$t_{n2}=\frac{48}{1\times6\times1,1}=7 \text{ (дней)};$$

в) длительность цикла при составлении постановки задач управления:

$$t_{n3}=\frac{48}{1\times6\times1,1}=7 \text{ (дней)};$$

г) итого длительность цикла проектирования модели озонатора составляет (t_{nM}):

$$t_{nM} = 4 + 7 + 7 = 18 \text{ (дней)}.$$

Длительность цикла тестирования и редактирования модели (t_{nT}):

а) длительность цикла при тестировании модели:

$$t_{n1}=\frac{100}{1\times6\times1,1}=15 \text{ (дней)};$$

б) длительность цикла при редактировании модели:

$$t_{n2}=\frac{80}{1\times6\times1,1}=12 \text{ (дней)};$$

в) длительность цикла при завершении тестирования и редактирования:

$$t_{n3}=\frac{62}{1\times6\times1,1}=9 \text{ (дней)};$$

г) итого длительность цикла тестирования и редактирования модели (t_{nT}):

$$t_{nT} = 15 + 12 + 9 = 36 \text{ (дней)}.$$

Длительность цикла при составлении документации ($t_{nД}$):
а) длительность цикла при исследовании стандартов печатных плат:

$$t_{n1}=\frac{48}{1\times6\times1,1}=7 \text{ (дней)};$$

б) длительность цикла при составлении пояснительной записки:

$$t_{n2}=\frac{90}{1\times6\times1,1}=14 \text{ (дней)};$$

в) итого длительность цикла при составлении документации ($t_{nД}$):

$$t_{nД} = 7 + 14 = 21 \text{ (дней)}.$$

Сводные данные по расчету длительности цикла и основной заработной платы приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Сводные данные по расчету основной заработной платы

Содержание работ	Исполнитель	Трудоёмкость норма-час	Заработная плата за час работы (тг)	Сумма заработной платы	Длительность цикла (t_n дни)
1)Проектирование модели системы шумоподавления в Proteus	Галузин Т.А.	120	3000	360000	18
Техническое задание	Галузин Т.А.	24	3000	72000	4
Исследование видов построения модели	Галузин Т.А.	48	3000	144000	7
Постановка задач управления	Галузин Т.А.	48	3000	144000	7

Продолжение таблицы 4.2

2)Тестирование и редактирование модели	Галузин Т.А.	242	3000	726000	36
Тестирование модели	Галузин Т.А.	100	3000	300000	15
Редактирование модели	Галузин Т.А.	80	3000	240000	12
Завершение тестирования и редактирования	Галузин Т.А.	62	3000	186000	9
3) Составление документации	Галузин Т.А.	138	3000	414000	21
Исследование стандартов печатных плат	Галузин Т.А.	48	3000	144000	7
Составление пояснительной записки	Галузин Т.А.	90	3000	270000	14

Фонд оплаты труда рассчитывается из суммы основной и дополнительной заработной плат по формуле:

$$Ф_{ОТ} = Ф_{ОТосн} + Ф_{ОТдоп}, \quad (4.3)$$

где $Ф_{ОТосн}$ - основная заработная плата, тенге;

$Ф_{ОТдоп}$ - дополнительная заработная плата, тенге.

Основная заработная плата состоит из суммы почасовой заработной платы по каждому циклу работ:

$$Ф_{ОТосн} = 360000 + 726000 + 414000= 1500000 \text{ (тенге)}.$$

Дополнительная заработная плата составит 20% от основной заработной платы:

$$Ф_{ОТдоп} = Ф_{ОТосн} \times 0,2 = 1500000 \times 0,2 = 300000 \text{ (тенге)}.$$

Зная дополнительную и основную заработную платы можно рассчитать фонд оплаты труда:

$$Ф_{ОТ} = 1500000 + 300000 = 1800000 \text{ (тенге)}.$$

Отчисления в пенсионный фонд составляют 10% от общей заработной платы:

$$Ф_{П} = Ф_{ОТ} \times 10\%, \quad (4.4)$$

$$Ф_П = Ф_{ОТ} \times 0,1 = 1800000 \times 0,1 = 180000 \text{ (тенге)}.$$

Социальный налог составляет 11% от общей заработной платы с учетом отчислений в пенсионный фонд:

$$Н_С = (Ф_{ОТ} - Ф_П) \times 0,11 = (1800000 - 180000) \times 0,11 = 178200 \text{ (тенге)}.$$

Амортизационные отчисления производятся по установленным нормам амортизации, выражаются, в процентах к балансовой стоимости оборудования и рассчитывается по формуле:

$$А=\frac{Соб-На\times N}{100\times 12\times t}\times 100\%, \quad (4.5)$$

где $Н_а$ - норма амортизации;

$С_{об}$ - первоначальная стоимость оборудования;

N - время использования ноутбука;

t - количество рабочих дней в месяце.

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$Н_а=\frac{Соб-Сл}{Тн\times Соб}\times 100\%, \quad (4.5)$$

где $С_л$ - ликвидная стоимость, составляет 5% от стоимости оборудования;

$Т_н$ - нормативный срок службы (для ПК и роутера - 4 года).

Таблица 4.3 – Оборудование необходимое для проведения НИР

Название	Количество, шт	Цена, тг
Персональный компьютер	1	180000
Роутер	1	15000
Итого:	2	195000

Так как ликвидационная стоимость составляет 5%, таким образом сумма будет:

$$С_л = 0,05 \cdot 195000 = 9750 \text{ (тенге)}.$$

Отсюда:

$$На= \frac{195000-9750}{4\times 195000} \times 100\% = 24\ \%.$$

Общее время использования ноутбука учитывается лишь на ноутбуке и рассчитывается суммой длительности циклов моделирования и составления документации:

$$N = 21 + 18 = 39 \text{ (дней)}.$$

Подставив в формулу амортизационных отчислений, сумма равна:

$$A = \frac{195000 \times 24 \times 39}{100 \times 12 \times 21} = 7242 \text{ (тенге).}$$

Расходы на материалы, используемые в процессе исследования в ПО составляют 1,5% от стоимости оборудования:

$$Р_м = 195000 \times 0{,}015 = 2925 \text{ (тенге).}$$

Накладные расходы, связанные с управление и обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования, и прочими дополнительными затратами на обеспечение процессов производства и обращения, составляют 50% от фонда оплаты труда, вычисляются по формуле:

$$Р_н = 0{,}5 \times Ф_{ОТ}, \quad (4.7)$$

$$Р_н = 0{,}5 \times 1800000 = 900000 \text{ (тенге).}$$

Таким образом, себестоимость разработки составит по формуле (4.1):

$$С = 1800000 + 178200 + 7242 + 2925 + 900000 = 2888367 \text{ (тенге).}$$

Таблица 4.4 - Затраты на проведение научно-исследовательской работы

Статья расходов	Сумма, тенге	В процентах от общей суммы, %
Заработная плата, $Ф_{от}$	1800000	62,3
Социальный налог, $Н_с$	178200	6,2
Амортизационные отчисления, А	7242	0,3
Расходы на материалы, $Р_м$	2925	0,1
Накладные расходы, $Р_н$	900000	31,2
Итого	2888367	100

4.3 Цена интеллектуального труда

Цена - это сумма себестоимости и чистого дохода, т.е.:

$$Ц = С + П, \quad (4.8)$$

где С - себестоимость;

П - чистый доход.

Для определения первоначальной цены изделия задается, уровень рентабельности устанавливается от 20 - 40%:

$$Ц_п = С \times (1 + \frac{Р}{100}), \quad (4.9)$$

где $Ц_п$ - первоначальная цена;

Р - рентабельность.

$$Ц_п = 2888367 \times (1 + \frac{40}{100}) = 4043713 \text{ (тенге)}.$$

Далее определим цену с учетом НДС:

$$Ц_р = Ц_п + НДС, \quad (4.10)$$

где НДС - налог на добавочную стоимость 12%.

$$Ц_р = 4043713 \times 1{,}12 = 4528959 \text{ (тенге)}.$$

Выводы: затраты на проведение научно-исследовательской работы системы активного шумоподавления в пакете программ Proteus составили 2888367 тенге, при чем наибольший процент от этой суммы составляют затраты на выплату заработной платы - 62,3%, так как работа является интеллектуальным трудом. Цена реализации такой НИР составит 4528959 тенге. Что является сравнительно небольшой суммой для проектов такого уровня, т.к. данное устройство может использоваться как в гражданской, так и в военной промышленности.

Заключение

В результате выполнения дипломной работы была спроектирована, протестирована и реализована система для активного шумоподавления внешних звуковых волн, кроме того представленное устройство имеет дополнительную функцию в виде возможности воспроизведения сигнала стороннего источника. Для проекта электрической схемы устройства были изучены и испробованы различные варианты исполнения, однако выбор был сделан в пользу наиболее экономически выгодного и более надежного варианта на основе малошумящих операционных усилителей.

Кроме электрической схемы также была спроектирована и разведена печатная плата устройства. В ходе разработки было изучено множество технологий и стандартов для создания печатных плат и устройств шумоподавления. Печатная плата впоследствии была исполнена в виде прототипа готового устройства.

При должной настройке, устройство, представленное в дипломном проекте, имеет огромный выбор сфер применения, начиная от использования в личных целях для обеспечения комфорта и заканчивая военной отраслью, учитывая столь простое исполнение оно имеет высокий уровень ремонтопригодности и надежности.

Список сокращений

ШП – шумоподавления;
СШП – система шумоподавления;
ПВХ – поливинилхлорид;
АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;
САУ – система автоматического управления;
ДВС – двигатель внутреннего сгорания;
САПР – система автоматизированного проектирования;
ПП – печатная плата;
ПО – программное обеспечение;
ПК – персональный компьютер;
ИШ – источник шума;
РТ – расчетная точка;
НДС – налог на добавочную стоимость.

Список литературы

1 Агаханян Т.М. Интегральные микросхемы: Учеб. пособие для вузов. – М.:Энергоатомиздат,1983.

2 Антонова Т.С., Харитонов А.Л. Мультимедийный или гипертекстовый учебник. 1998 г. - 185 с.

3 Валетов В.А."Оптимизация микрогеометрии поверхностей детали в приборостроении" Учебное пособие, Ленинград 1989, ЛИТМО

4 Валетов В.А. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры. СПбГУ ИТМО,2007, 32с.

5 Зерний Ю.В. Полываный А.Г. Основы технологии приборостроения. Учебное пособие. М., 2007.

6 Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. СПб: Компьютербург, 2003. – 84 с

7 Маталин А.А. Технология машиностроения. Ленинград "Машиностроение" 1985 г. - 487 с.

8 Парфенов О.Д. Технология микросхем. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1977.

9 Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы: Пер. с англ. – М.: Мир,, 1988.

10 Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов/ И.П. Бушминский, О.Ш. Даутов, А.П. Достанко и др.; Под ред. А.П. Достанко, Ш.М. Чабдарова. - М.: Радио и связь, 1989

11 Ханке Х., Фабиан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры.- М.: Энергия. 1980

12 Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. -Минск: Наука и техника, 1980. - 264 с.

13 Fockele, M., Schwarze, D.: "Neue Wege im Rapid Prototyping" Aachen, 1994

14 Козлов Б.А. Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Советское радио1988.

15 Приходько Н.Г. Основы безопасности жизнедеятельности. Конспект лекций. – Алматы: АУЭС, 2011.

16 Дюсебаев М.К., Абдимуратов Ж.С. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2009.

17 Еркешева З.Д Методические указания к выполнению экономической части дипломных работ для студентов специальности 5В071600 – Приборостроение. – Алматы: АУЭС, 2017.

18 СНиП РК 2.04-03-2011 «Защита от шума»