



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт энергетики и электротехники  
Кафедра «Промышленная электроника»

УТВЕРЖДАЮ  
Завкафедрой

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
А.А.Шевцов  
(подпись) (И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение бакалаврской работы**

Студент Трубников Владимир Сергеевич

1. Тема Устройство для активного шумоподавления
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы  
30.05.2016
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: диапазон частот 20—20000Гц, размер помещения 12 кв. м
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)
  - Состояние вопроса по системам активного шумоподавления
  - Разработка принципиальной схемы устройства активного шумоподавления
  - Разработка конструкции и печатной платы устройства активного шумоподавления
  - Техничко-экономическое обоснование работы
  - Безопасность и экологичность работы
5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала
  - Обзор систем активного шумоподавления
  - Диаграммы работы известных устройств активного шумоподавления
  - Функциональная схема системы активного шумоподавления
  - схема электрическая принципиальная системы активного шумоподавления

- схема размещения системы активного шумоподавления
- Плата печатная системы активного шумоподавления
- 6. Консультанты по разделам
- 7. Дата выдачи задания «\_15\_»\_12\_\_\_\_\_2015\_\_г.

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_

(подпись)

**В.П. Певчев**

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

(подпись)

**В. С. Трубников**

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**  
**Промышленная электроника**

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой «Промышленная  
электроника»

\_\_\_\_\_ А.А.Шевцов  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**  
**выполнения бакалаврской работы**

Студента: Трубникова Владимира Сергеевича  
по теме: Устройство для активного шумоподавления

<b>Наименование раздела работы</b>	<b>Плановый срок выполнения раздела</b>	<b>Фактичес- кий срок выполнения раздела</b>	<b>Отметка о выполне- нии</b>	<b>Подпись руково- дителя</b>
Составление плана работ	Январь 2016			
Анализ существующих устройств активного шумоподавления	2016			
Разработка принципиальной схемы устройства и расчет основных блоков схемы	2016			
Расчет расположения элементов устройства	2016			
Разработка печатной платы устройства	2016			
Разработка раздела безопасности и экологичности проекта	2016			
Разработка графического и иллюстративного материала	2016			

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_ (подпись)

В.П. Певчев

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

---

(подпись)

В.С. Трубников

---

(И.О. Фамилия)

## АНОТАЦИЯ

Представлена бакалаврская работа на тему "Устройство для активного шумоподавления". В работе рассмотрены существующие конструкции устройств активного шумоподавления. Разработана функциональная схема проектируемого устройства. Проведена разработка принципиальной схемы с выбором оптимального диапазона работы и параметров используемых элементов.

Проведено моделирование работы устройства для активного шумоподавления в различных частотных диапазонах, подтвердившее правильность выбранных параметров элементов.

Разработана печатная плата устройства.

Рассмотрены вопросы безопасной и экологичной эксплуатации устройства.

Пояснительная записка содержит введение, 4 раздела, заключение, список используемой литературы, 56 стр.. Графическая часть бакалаврской работы 5 листов формата А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА .....	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	61

## ВВЕДЕНИЕ

Фундаментальные знания физики и научно-технологический прогресс в микроэлектронике дает простор для создания огромного количества необходимых человечеству устройств. На протяжении всей истории развития, человечество стремится улучшить качество жизни. В современном мире, полном городской суеты, переполненности улиц, бессовестных соседей и прочих факторов, вызывающих раздражение – а как следствие проблемы со здоровьем, является шум. За последний век, технологический прогресс создал немало способов борьбы с данной проблемой.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

## 1.1 Воздействие шума на здоровье человека

Раздражающий [шум](#) неестественного происхождения, нарушает жизнедеятельность [живых организмов](#), в том числе [человека](#). Раздражающие шумы существуют и в природе, однако считать загрязнением их неверно, поскольку живые организмы [адаптировались](#) к ним в процессе [эволюции](#).

На данный момент главным источником шумового загрязнения в городской среде являются [транспортные средства](#) — автомобили, железнодорожные поезда и самолёты.

В [городах](#) уровень шумового загрязнения в жилых районах может быть сильно увеличен за счёт неправильного [городского планирования](#), другими важными источниками шумового загрязнения в городах являются промышленные предприятия, строительные и ремонтные работы, автомобильная сигнализация, собачий лай, шумные люди и т. д.

По данным многочисленных исследований более половины населения России проживает в районах, где уровень шума составляет 55 - 70 дБ.

Не стоит недооценивать вред шумового загрязнения. Шум может вызывать раздражение и агрессию, [артериальную гипертензию](#) (повышение артериального давления), [тиннитус](#) (шум в ушах), потерю слуха. При чрезмерном уровне шум влияет на орган слуха, центральную нервную систему и сердечно-сосудистую систему. По данным В. Артамоновой изменения в нервной системе в 2/3 случаев начинаются до того, как начнётся понижение слуха. Шум влияет на обмен веществ, угнетает



окислительные процессы, способствует развитию гипертонической болезни. Наибольшее раздражение вызывает шум в диапазоне частот от 3000 до 5000 [Гц](#).

Хроническая подверженность шуму на уровне более 90 [дБ](#) может привести к потере слуха.

При шуме на уровне более 110 дБ у человека возникает [звуковое](#) опьянение, по субъективным ощущениям аналогичное алкогольному или наркотическому.

При шуме на уровне 145 дБ у человека происходит разрыв барабанных перепонок.

Женщины менее устойчивы к сильному шуму, чем мужчины. Кроме того, восприимчивость к шуму зависит также от возраста, состояния здоровья, окружающих условий и т. д.

Дискомфорт вызывает не только шумовое загрязнение, но и полное отсутствие шума. Более того, звуки определённой силы повышают работоспособность и стимулируют процесс [мышления](#) (в особенности процесс счёта) и, наоборот, при полном отсутствии шумов человек теряет работоспособность и испытывает [стресс](#). Наиболее комфортными для человеческого уха являются естественные шумы: шелест листьев, журчание воды, пение птиц. Индустриальные шумы любой мощности не способствуют улучшению самочувствия. Шум от автомобильного транспорта способен вызывать головные боли.

Ниже приведена таблица зависимости потери слуха от продолжительности работы в условиях «шумового загрязнения» в процентном отношении.(таблица 1.1)

Таблица 1.1 Влияние продолжительного шумового загрязнения на слух человека

Эквивалентный уровень шума(дБ)	Продолжительность работы в условиях шума, лет			
	5	10	15	20
	%			
До 80	0	0	0	0
85	1	3	5	6
90	4	10	14	16
95	7	17	24	28
100	12	29	37	42
105	18	42	53	58
110	26	55	71	78

Для более понятного восприятия цифр, привел сравнительную характеристику громкости звука с возможным его источником в таблице 1.3

Таблица 1.3. Соотношение громкости звука и предполагаемого источника

Децибел, дБА	Характеристика	Источники звука
0	Ничего не слышно	
5	Почти не слышно	
10	Почти слышно	тихий шелест листьев
15	Едва слышно	шелест листвы
20	Едва слышно	шепот человека (на расстоянии 1 метр).
25	Тихо	шепот человека (1м)
30	Тихо	шепот, тиканье настенных часов. Допустимый максимум по нормам для жилых помещений ночью, с 23 до 7 ч. (СНиП 23-03-2003 «Защита от шума»).
35	Довольно слышно	приглушенный разговор
40	Довольно слышно	Обычная речь. Норма для жилых помещений днём, с 7 до 23 ч.
45	Довольно слышно	обычный разговор
50	Отчётливо слышно	разговор, пишущая машинка
55	Отчётливо слышно	Верхняя норма для офисных помещений класса А (по европейским нормам)

60	Шумно	Норма для контор
65	Шумно	громкий разговор (1м)
70	Шумно	громкие разговоры (1м)
75	Шумно	крик, смех (1м)
80	Очень шумно	крик, мотоцикл с глушителем, шум пылесоса (с большой мощностью двигателя – 2 киловатта).
85	Очень шумно	громкий крик, мотоцикл с глушителем
90	Очень шумно	громкие крики, грузовой железнодорожный вагон (в семи метрах)
95	Очень шумно	вагон метро (в 7 метрах снаружи или внутри вагона)
100	Крайне шумно	оркестр, вагон метро (прерывисто), раскаты грома, визг работающей бензопилы  Максимально допустимое звуковое давление для наушников плеера (по европейским нормам)
105	Крайне шумно	в самолёте (до 80-х годов XX столетия)
110	Крайне шумно	вертолёт
115	Крайне шумно	пескоструйный аппарат (1м)
120	Почти невыносимо	отбойный молоток (1м)
125	Почти невыносимо	
130	Болевой порог	самолёт на старте
135	Контузия	
140	Контузия	звук взлетающего реактивного самолета
145	Контузия	старт ракеты
150	Контузия, травмы	
155	Контузия,	

	травмы	
160	Шок, травмы	ударная волна от сверхзвукового самолёта
При уровнях звука свыше 160 децибел – возможен разрыв барабанных перепонок и лёгких, больше 200 – смерть (шумовое оружие)		

## 1.2 Принцип работы и основные требования к устройству

Устройство для активного шумоподавления – современное радиоэлектронное устройство. Предназначено для снижения общего уровня шума. Основываясь на одном из основных свойств волн – интерференции – можно очень просто описать принцип работы данного устройства: Гашение шумов происходит путем сложения противофазных от исходных звуковых волн со звуковыми волнами, которые создает источник шума. Результатом сложения является звуковая волна с уменьшенной амплитудой звуковых волн. Успешно применяется в областях автомобилестроения и производства музыкального оборудования. Предлагаю рассмотреть применение данного устройства приспособленного для снижения «шумового загрязнения» в условиях городской среды для жилых и офисных помещений. Исходя из целевого назначения устройства, оно должно быть максимально эффективным в наиболее вредоносном диапазоне звуковых частот для человека: от 3000Гц до 5000Гц. Иметь исключение в фильтрации звуковых частот для таких сигналов как: Для использования в жилых помещениях и офисах на территории Российской Федерации устройство должно иметь следующие значения входных характеристик:

- сетевое напряжение: 220В

- номинальная частота 50-60 Гц
  - сила тока 5А или иметь собственное автономное питание.
- Что обеспечивает возможность применения устройства на территории всей страны.

### 1.3 Обзор существующих устройств.

В настоящее время системы и устройства активного шумоподавления стремительно внедряют в автомобильную промышленность. Предпосылкой для этого служит развитие в сфере микроэлектроники и стремление человечества достигнуть максимального комфорта за рулем. Первопроходцем в применении данного устройства в автомобилестроении стала компания Toyota, внедрившая данную технологию в автомобили бизнес-класса в 2007-2009 годах. Автомобили с данной системой успешно показали себя на рынке. Функциональная схема системы активного шумоподавления для автомобилей изображена на рисунке 1.1



Рис. 1.1.

Функциональная схема системы активного шумоподавления в автомобиле.

Как показано на схеме, ненужные шумы собираются, установленными на крыше автомобиля микрофонами, а так же снимаются показатели оборотов двигателя. Полученный от микрофонов сигнал поступает в инвертор, и, затем на усилитель с последующим выводом сигнала на динамики аудиосистемы автомобиля. Инвертировать входной сигнал возможно с помощью цифровых сигнальных процессоров или же с использованием только аналоговых компонентов преобразования сигнала - выбор зависит от поставленных задач. Питание всей системы обеспечивает аккумулятор автомобильный

12

В.

Еще одной сферой применения устройства для активного шумоподавления становится аудиоаппаратура. На сегодняшний день очень популярны наушники с использованием данной системы. Принцип работы системы не отличается от автомобильной. Функциональная схема устройства активного шумоподавления наушниках изображена на рисунке 1.2

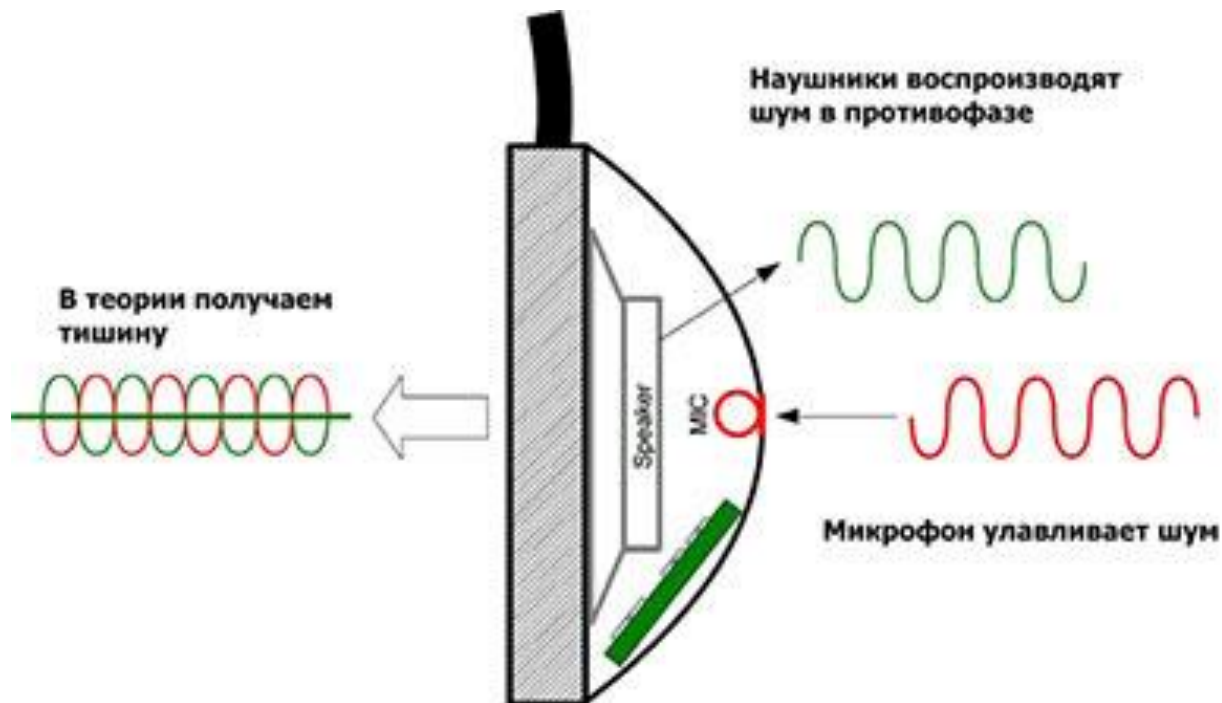


Рис. 1.2 Функциональная схема системы активного шумоподавления в наушниках

### 1.3 Преимущества и недостатки способов обработки сигналов данных устройств

В данной дипломной работе мы будем применять только аналоговую схему для обработки и усиления входящего сигнала. Но не лишним будет рассмотреть особенности, преимущества и недостатки обеих систем. Аналоговая схема для устройства активного шумоподавления инвертирует сигнал с помощью простейшего инвертирующего операционного усилителя. Основными преимуществами данного способа обработки сигнала являются:

- быстрая обработка сигнала
- дешевизна используемых компонентов
- небольшие размеры устройства

Быстрая обработка сигнала обоснована отсутствием ЦАП ( цифро-аналогового преобразователя) и АЦП ( аналого-цифрового преобразователя) – так как для выполнения этих операций требуется относительно большое количество времени – что впоследствии приводит к отставанию инвертированного сигнала от исходного. Для устройства активного шумоподавления скорость обработки сигнала – один из наиболее важных параметров.

Производство, используемых в аналоговой схеме устройства активного шумоподавления, компонентов в настоящее время автоматизировано и оптимизировано. Не требует дорогостоящих материалов. Данные компоненты являются основной частью схемы. Следовательно затраты на комплектующие части схемы будут минимальные. Небольшие размеры устройства обусловлены размерами используемых компонентов и элементов.

Из недостатков аналоговой схемы стоит отметить узконаправленное применение. В связи со сложностью в фильтрации обработанного сигнала. Для задания нужного фильтра необходимо использовать дополнительные



электронные компоненты. Следовательно, адаптация данной схемы под необходимые условия будет включать в себя изменения самой схемы.

Цифровая схема обработки информации включает в себя:

-АЦП

-Цифровой сигнальный микроконтроллер с необходимым программным обеспечением

-ЦАП

Основными преимуществами данной схемы являются:

- универсальность схемы

- множество дополнительных функций, задаваемые программным обеспечением

Данная схема не привязана к конкретным параметрам для исходных сигналов. Алгоритмы работы схемы задает программное обеспечение микроконтроллера. Для изменения или дополнения основных функций достаточно внести необходимые изменения в программу. Так же, с помощью данной схемы можно реализовывать дополнительные функции. Например, в автомобильных системах активного шумоподавления используются цифровые методы обработки сигналов, что позволяет на высоких оборотах двигателя усиливать сигнал нужной частоты( а именно звук работы двигателя). Что создаст дополнительные впечатления от езды у владельца авто с данной системой. Для этого необходимо внести данный фильтр в программное обеспечение - это достаточно просто.

Основным недостатком цифровой схемы является ее дороговизна. Так как качество шумоподавления напрямую зависит от быстродействия цифрового процессора. Для обеспечения нужного быстродействия применяются дорогостоящие цифровые сигнальные процессоры.

На рисунке 1.3 приведен пример схемы зарубежной системы активного шумоподавления ( Active Noise Cancelling ) на базе микропроцессора AS3410

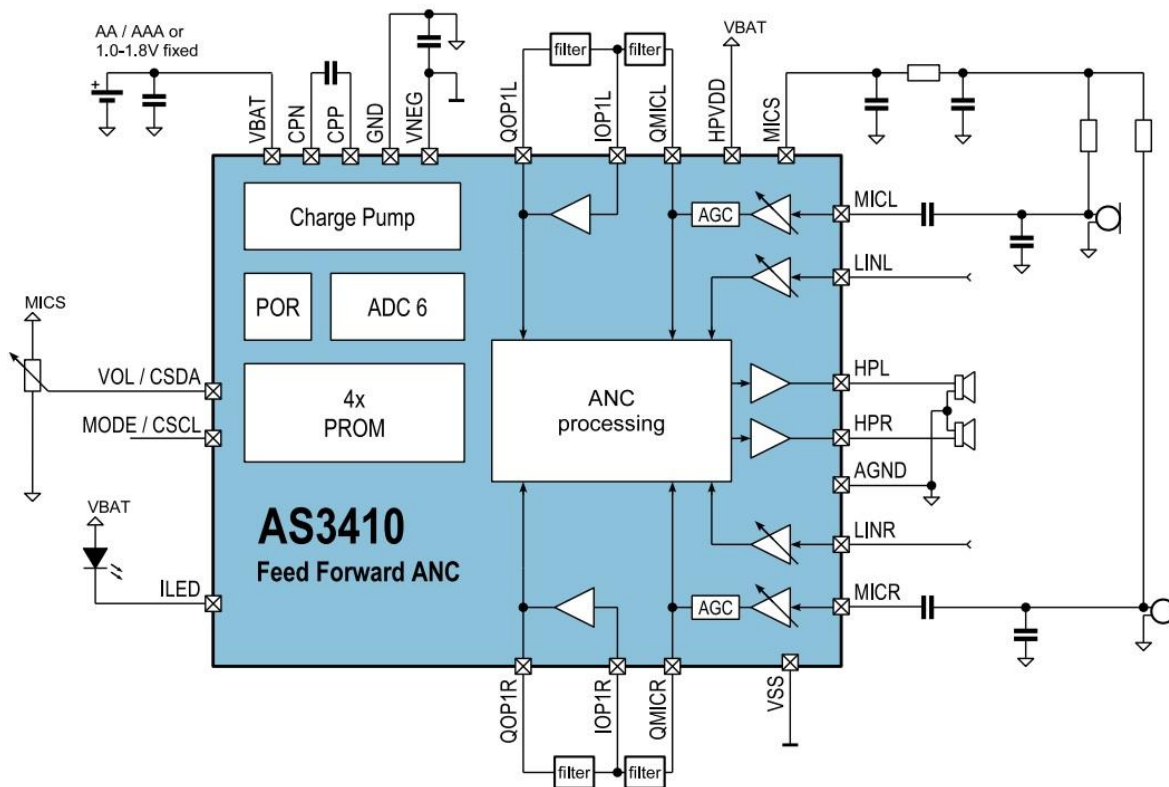


Рис. 1.3 Схема устройства активного шумоподавления на базе микропроцессора AS3410.

Ниже приведены амплитудно-частотные характеристики современного цифрового устройства для активного шумоподавления в наушниках Koss QZPro, стоимостью 5200 – 6500р на российском рынке. Где

Черный график – исходный сигнал( шум )

Красный график – результирующий сигнал



Рис. 1.4 АЧХ цифрового устройства для активного шумоподавления.

Основываясь на показаниях данного изображения, можно сказать, что на частотах от 30 Гц до 20000 Гц устройство работает с эффективностью до 90%. После перехода границы в 20000 устройство теряет свою эффективность и начинает усиливать сигнал. Это связано с нехваткой вычислительной мощности микропроцессора. Но так как человеческий слуховой аппарат улавливает колебания в диапазоне 20 – 20000 Гц ( у большинства людей старше 22-х лет диапазон воспринимаемых звуковых колебаний 20 – 16000 Гц) этот факт нельзя считать недостатком.

## 1.4 Разработка функциональной схемы.

В основе работы устройства для активного шумоподавления лежит принцип интерференции звуковых волн.

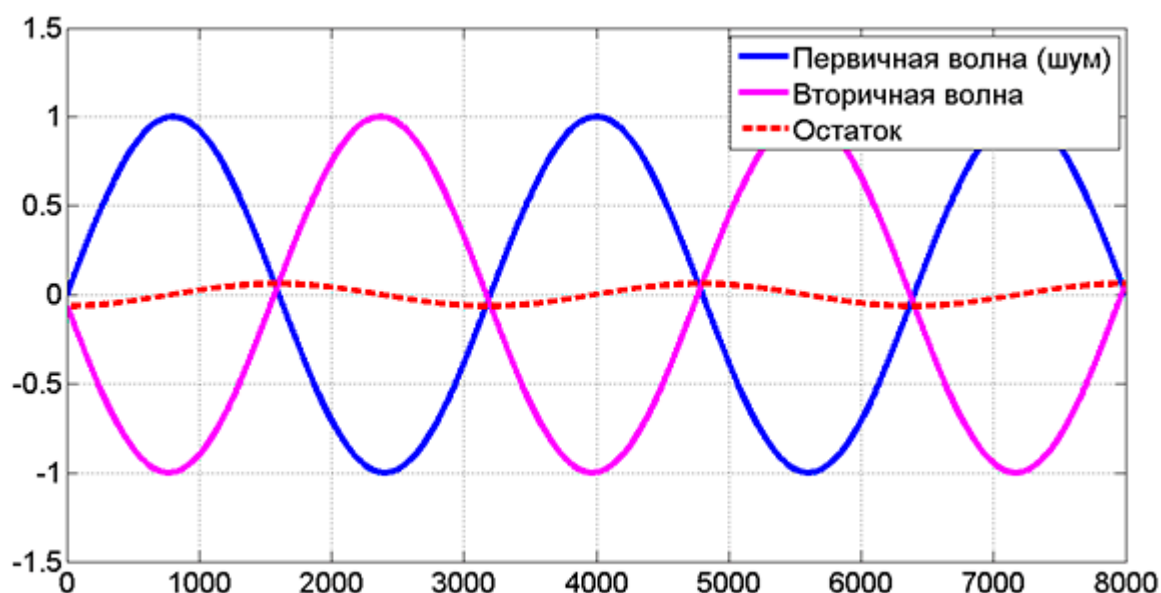


Рис. 1.5 Схематичное обозначение интерференции звуковых волн

Устройство для активного шумоподавления должно представлять собой набор следующих компонентов:

- 1) устройство(а) приема звуковых сигналов ( микрофон(ы))
- 2) устройство(а) вывода обработанных звуковых сигналов (динамик(и))
- 3) модуль обработки и усиления сигналов в состав которого входят:
  - плата печатная
  - элементы схемы принципиальной
  - корпус
- 4) элементы(ы) питания

Устройства приема и вывода звуковых сигналов подсоединяются к модулю обработки и усиления сигналов посредством проводного соединения для более качественной работы устройства. Проводной способ соединения компонентов обладает повышенной устойчивостью к радиопомехам, которую невозможно обеспечить, применяя радио-волновую передачу информации. Так же проводное соединение более эффективно из за отсутствия дополнительных стадий обработки информации на пути от приемника звуковых сигналов до модуля обработки сигналов. Обработка входного сигнала осуществляется набором радиоэлектронных элементов. В основе работы схемы лежат операционные усилители – которые инвертируют и усиливают входной сигнал. Исходя из вышесказанного, составили функциональную схему, изображенную на рисунке 1.6

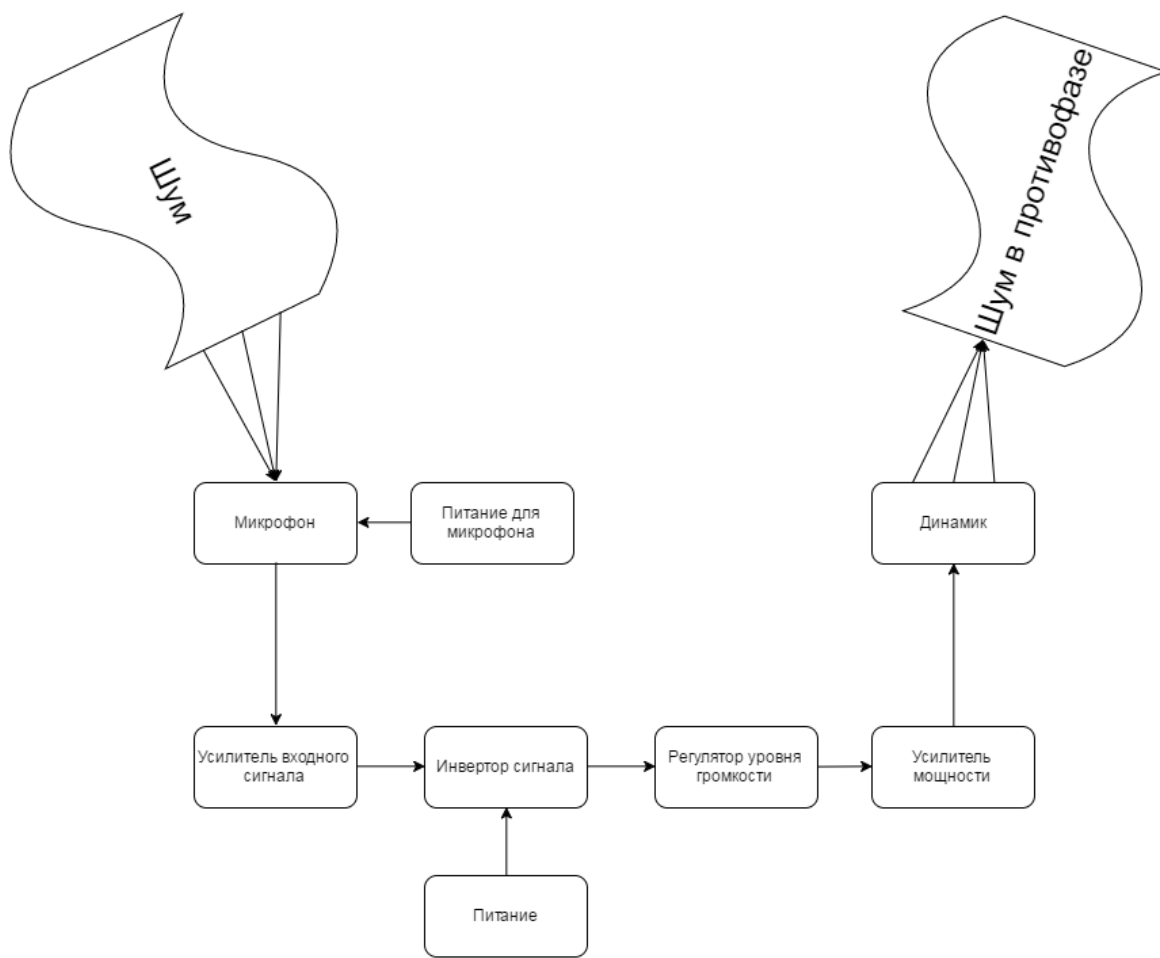


рис. 1.6 Схема функциональная устройства для активного шумоподавления

Схема функциональная показывает основные этапы работы и функциональные узлы устройства в целом.

Устройством приема сигналов является простейший всенаправленный капсульный микрофон, который улавливает звуковые колебания. Затем сигнал от микрофона поступает в модуль Обработки и усиления сигналов, состоящий из Усилителя входного сигнала, Инвертора, регулятора уровня громкости и Усилителя мощности где, посредством радиоэлектронных компонентов преобразуется (инвертируется) в противофазный исходному сигнал. Далее преобразованный и, в зависимости от необходимости усиленный сигнал, поступает на Устройство вывода сигналов, чем служит 8-ми или 4-х Омный динамик. Питание устройства обеспечивает 15В Элемент питания

## 1.6 Задача проекта

Согласно выданному заданию, необходимо разработать устройство для активного шумоподавления, для частотного диапазона от 20 до 20000 Гц, с максимальной эффективностью работы в промежутке от 3000 до 5000 Гц. Устройство должно быть адаптировано к работе от сетевого питания, либо иметь собственный источник питания. Так как работа рассмотренных устройств активного шумоподавления основана на цифровой обработке сигналов – стоимость данных устройств неприемлема для потребительского рынка России в масштабном объеме, следовательно, нам нужно разработать более дешевый вид устройства, который будет справляться с поставленной задачей.

Устройство должно быть безопасным. Для этого лучше использовать встроенный источник питания. Обслуживание проектируемого устройства должно быть максимально простым, не требующим специальных навыков у владельца.

## 2 РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АКТИВНОГО ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

### 2.1 Разработка принципиальной схемы устройства

В рамках разработки устройства для активного шумоподавления будем рассматривать получение сигнала от микрофона, установленного вне корпуса устройства, усиление и обработку сигнала для подачи его на динамик, установленный в корпусе устройства. Разработка блока питания не выполняется в рамках данной работы, блок питания может размещаться на отдельной плате, и с него на плату устройства подается питающее напряжение 15 В со средней точкой.

На рисунке 2.5.1 представлена принципиальная схема устройства. Сигнал внешнего шума принимается электретным микрофоном ЕСМ-66С, установленным на улице, и передается на устройство по экранированному кабелю. Для удобства подключения микрофона к устройству на корпусе устройства установлен разъем X1.

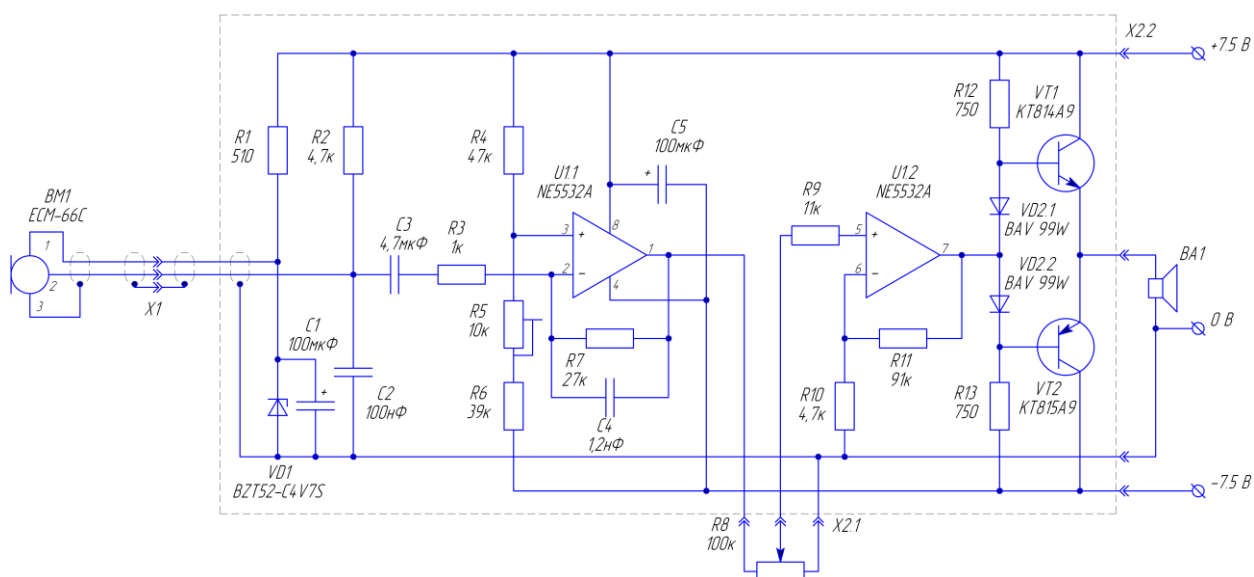


Рисунок 2.1.1 – Принципиальная схема устройства



Концы экранированного кабеля, по которому сигнал от разъема X1 передается на плату, к плате припаиваются, что уменьшает уровень помех в сигнале.

Для формирования питания электретному микрофону в 4,5В на стабилитроне VD1 и резисторе R1 собран стабилизированный источник питания.

Конденсатор C2 проводит фильтрацию от высокочастотных составляющих сигнала. Конденсатор C3 обеспечивает гальваническую развязку и одновременно отфильтровывает низкочастотную составляющую сигнала.

Первый каскад усиления собран в виде инвертирующего усилителя на операционном усилителе (ОУ). Сигнал с микрофона подается на инвертирующий вход ОУ. Каскад имеет отрицательную обратную связь выполненную в виде сопротивления R7 и конденсатора C4. Неинвертирующий вход ОУ подсоединен к делителю напряжения на сопротивлениях R4, R5, R6. Подстроечное сопротивление R5 позволяет обеспечить балансировку по нулевому уровню сигнала. Для дополнительной стабилизации питания ОУ, непосредственно рядом с вводами питания устанавливается конденсатор C5.

В качестве нагрузки первого каскада используется регулировочное сопротивление R8, установленное на передней панели устройства и подсоединенное к плате через разъем X2. Данное сопротивление позволяет регулировать уровень выходного сигнала.

С подвижного контакта сопротивления R8 сигнал подается на неинвертирующий вход второго каскада усиления, собранного по схеме неинвертирующего усилителя на ОУ. Отрицательная обратная связь каскада собрана на сопротивлениях R10, R11. С выхода второго каскада усиления сигнал подается на выходной каскад усилителя, выполненного по мостовой

схеме. Усиленный по мощности сигнал подается на громкоговоритель ВА1 с сопротивлением 8 Ом.

Подвод напряжение питания и подключения громкоговорителя к плате осуществляется через разъем Х2.

Блок питания может быть выполнен по любой стандартной схеме, размещается на отдельной печатной плате и его разработка не рассматривается в рамках данной работы.

## 2.2 Расчет выходного каскада усилителя

Выходной каскад усилителя необходим для обеспечения выдачи на предполагаемую нагрузку сигнала необходимой мощности. В нашем случае необходимо также обеспечивать минимальное фазовое смещение сигнала, поэтому в качестве выходного каскада усиления выбрана схема из двух эмиттерных повторителей, работающих на общую нагрузку. Режим по постоянному току в данной схеме обеспечивается делителем, собранным из последовательно включенных резисторов R12 и R13, и диодов VD2.1 и VD2.2. В выходном каскаде используются два транзистора VT1 и VT2, имеющих различную проводимость (один n-p-n, другой p-n-p), но имеющих близкие по значениям характеристики, такие транзисторы составляют комплементарные пары. При расчете выходного каскада будем использовать графоаналитический способ расчета параметров по входным и выходным характеристикам транзисторов.

Определим максимальную мощность рассеяния транзистора в одном плече усилительного каскада, необходимую при выдаче каскадом максимальной мощности на нагрузку.

$$P_{\max} = \frac{2P_{20}}{\pi} \approx \frac{2P_{20}}{3.14}, \text{ где} \quad (2.14)$$

$P_n$  - номинальная выходная мощность устройства шумоподавления.

Определим максимальный коллекторный ток транзисторов VT1 и VT2:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{2P_n}{R_n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,41}{8}} = 0,101 \text{ А}, \text{ где} \quad (2.15)$$

$R_n$  - сопротивление нагрузки, принимаем как у большинства динамиков 8 Ом.

По заданным параметрам нагрузки определим амплитуду выходного напряжения:

$$U_{\max} = I_{\max} \cdot R_n = 0,101 \cdot 8 = 0,808 \text{ В} \quad (2.16)$$

Проведя анализ выходных характеристик комплементарных пар транзисторов 800-ой серии задаемся величиной, так называемого начального напряжения  $U_{\text{нач}}$ , при котором выходные характеристики стабилизируются (имеют практически постоянный угол наклона на значительном участке), данная величина составляет порядка 1,5 В.

Ориентировочное напряжение питания выходного каскада определим из условия:

$$E_{\text{п}} = 2 \cdot U_{\text{нач}} = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ В} \quad (2.17)$$

Принимаем напряжение питания выходного каскада  $E_{\text{п}}$  равным 15 В.

Находим необходимую верхнюю граничную частоту усиления транзисторов выходного каскада из условия:

$$f_{\text{г}} = \frac{1}{2\pi \cdot R_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 15915 \text{ Гц} \quad (2.18)$$

Учитывая полученные значения  $P_{\max}=0,41$  Вт,  $I_{\text{кmax}}=0,71$  А и так же  $U_{\text{кэmax}}=E_{\text{п}}/2=7,5$  В, по справочнику выбираем комплементарную пару транзисторов КТ814А и КТ815А, согласно данных [L1] со следующими характеристиками:

максимальное напряжение коллектор-эмиттер  $U_{\text{кэmax}}=25$  В;

граничная частота коэффициента передачи  $f_{гр}=3$  МГц;

максимальный постоянный ток коллектора  $I_{кmax}=1,5$  А;

максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора с теплоотводом  $P_{кmax}=10$  Вт;

максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора без теплоотвода  $P_{кmax}=1$  Вт.

Выбранные транзисторы удовлетворяют указанным ограничениям и могут использоваться без дополнительного теплоотвода. Так как операционный усилитель NE5532A выполняется в корпусе для SMD-монтажа на печатную плату, то и остальные элементы выберем в таком же исполнении. Поэтому в выходном каскаде усилителя будем использовать транзисторы КТ814А9 и КТ815А9, выполненные в корпусе КТ-89. Внешний вид транзисторов представлен на рисунке 2.2.1.

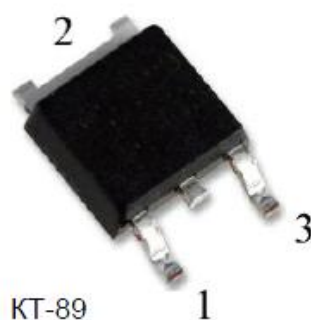


Рисунок 2.2.1 – Внешний вид транзисторов КТ814А9 и КТ815А9

Построим на графике семейства выходных характеристик транзисторов КТ814А9 и КТ815А9 (смотри рисунок 1.5.2) динамическую нагрузочную прямую, отсекающую на оси абсцисс  $E_{п}/2=7,5$  В, а на оси ординат величину максимально возможного тока через коллектор (без учета сопротивления транзистора)  $I_{кmax}=E_{п}/(2*R_{н})=15/(2*8)=0,938$  А. По полученному графику определим величины  $U_{ост}$  и  $I_{кmax}$ , соответствующие границе линейной части выходных характеристик. Получили  $U_{ост}$  равно 1,0 В, а  $I_{кmax}$  равен 0,81 А.

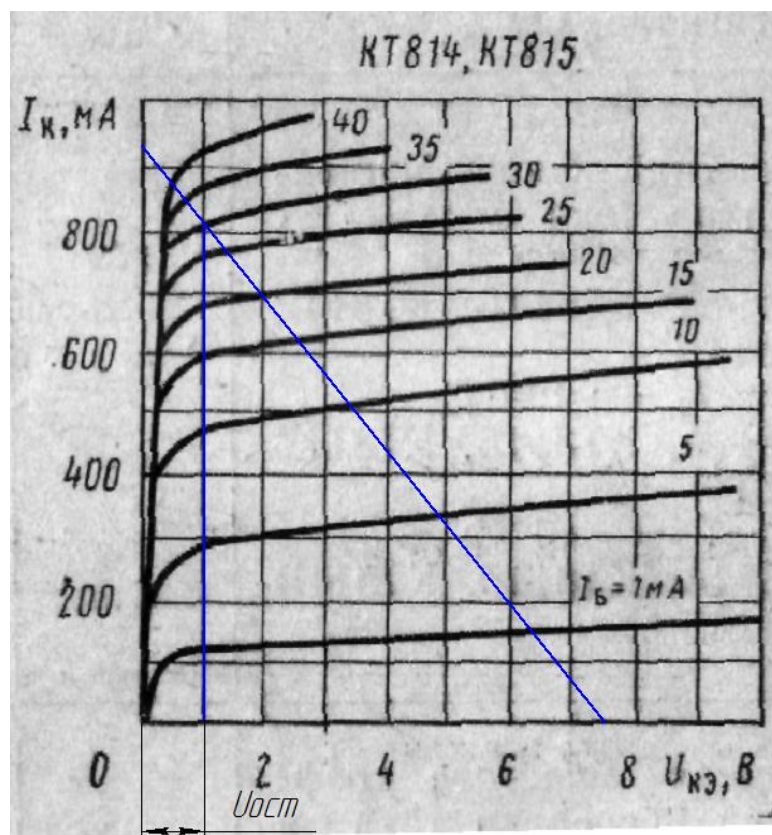


Рисунок 2.2.2 – Выходные характеристики транзисторов КТ814А и КТ815А

По точкам пересечения нагрузочной линии с выходными характеристиками определяем значения тока базы  $I_b$  и тока коллектора  $I_k$ , соответствующие этим точкам (точки а, b, с, d, e, f, g, h, i). Используя входную характеристику выбранного транзистора, по значениям тока базы определяем соответствующие значения входного напряжения  $U_{бэ}$ . Полученные данные заносим в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Величина	а	б	с	д	е	ф	г	h	и
$U_{кэ}, В$	0,45	0,65	1,0	1,3	2	2,6	3,3	4,9	6,3

$I_k, A$	0,875	0,85	0,81	0,78	0,70	0,62	0,51	0,33	0,16
$I_{б0}, mA$	40	35	30	25	20	15	10	5	1
$U_{бэ0}, B$	0,885	0,88	0,875	0,864	0,855	0,835	0,82	0,79	0,71

По данным таблицы 2.1 строим сквозную характеристику  $I_k=f(U_{бэ})$  для транзисторов КТ814А9 и КТ815А9 (VT1 и VT2). Данная характеристика представлена на рисунке 2.2.3.

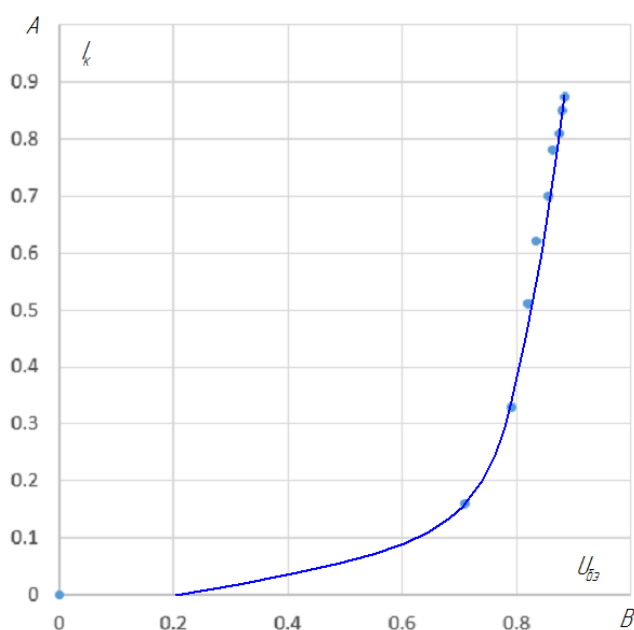


Рисунок 2.2.3 – Сквозная характеристика транзисторов КТ814А и КТ815А в выходном каскаде

Для уменьшения нелинейных искажений при малых уровнях сигнала, и для получения высокого коэффициента полезного действия выходной каскад должен работать в режиме АВ или В. Это значит, что исходную рабочую точку надо выбирать при минимальном токе покоя коллектора и минимальном токе базы. На входной характеристике исходная рабочая точка характеризуется параметрами  $U_{бэ0}=0,71 B$ ,  $I_{б0}=1mA$ ,  $I_{к0}=0,16 A$ .

Согласно рекомендаций [L2], ток делителя на резисторах R12, R13 должен быть  $I_d \geq (2 \dots 5) I_{60}$ , следовательно  $I_d \geq 5$  мА. Подбираем диод с необходимой характеристикой, вполне подходящим является диод BAV99W.

Согласно данных [L3], нагрузочная характеристика диода BAV99W имеет вид, представленный на рисунке 2.5.4, а внешний вид сборки диодов в корпусе SOT-323 представлен на рисунке 2.5.5. По нагрузочной характеристике для напряжения  $U_{630} = 0,71$  В, определим уточненный ток делителя  $I_d = 8$  мА.

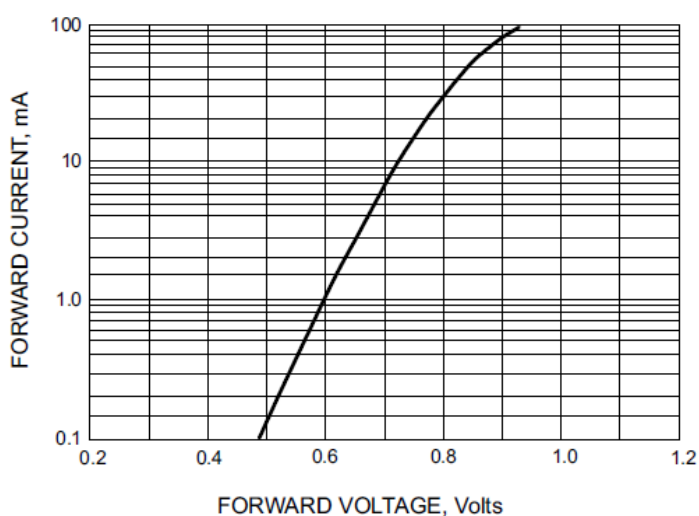


Рисунок 2.2.4 – Нагрузочная характеристика диода BAV99W

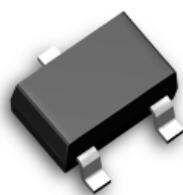


Рисунок 2.2.5 – Внешний вид диодной сборки BAV99W в корпусе SOT-323

Определяем величину сопротивления делителя:

$$R = \frac{U_{630}}{I_d} = \frac{0,71}{0,008} = 88,75 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Принимая в соответствии с рядом номинальных значений  $R_{12} = R_{13} = 750$  Ом, выбираем по [L4] чип-резистор RC2012-J-750 Ом  $\pm 5\%$

(chip 0805) Cinetech с номинальной мощностью 0,125 Вт. Проверим выбранный резистор по допустимой мощности рассеяния:

$$P_{R12} = \frac{U_{R12}^2}{R_{12}} = \frac{0,17^2}{750} = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ Вт} < P_{R12н}$$

(2.20)

$P_{R12} < P_{R12н}$ , следовательно выбор резистора произведен правильно.

По сквозной характеристике определим основные показатели работы транзистора с учетом смещения рабочей точки:  $I_{мн} = 0,71 \text{ А}$ ,  $U_{мбэ} = 0,17 \text{ В}$ ,  $U_{мн} = 5,66 \text{ В}$ ,  $I_{мб} = 0,035 \text{ А}$ .

Усредненная крутизна характеристики транзистора:

$$g_{1, мбэ} = \frac{I_{мн}}{U_{мбэ}} = \frac{0,71}{0,17} = 4,18 \text{ С}, \text{ где} \quad (2.21)$$

Усредненная входная проводимость транзистора:

$$g_{1, мбэ} = \frac{I_{мб}}{U_{мбэ}} = \frac{0,035}{0,17} = 0,206 \text{ С} \quad (2.22)$$

Определяем глубину обратной связи:

$$F_g = R_{12} g_{1, мбэ} = 750 \cdot 0,206 = 154,5 > 1 \quad (2.23)$$

Входное сопротивление каскада:

$$R_{вх} = R_{12} \parallel R_{13} \parallel \frac{1}{g_{1, мбэ}} = \frac{1}{\frac{1}{750} + \frac{1}{3750} + 0,206} = 3,75 \text{ кОм} \quad (2.24)$$

Коэффициент усиления по напряжению выходного каскада:

$$K_{U, вх} = \frac{g_{1, мбэ} R_{13}}{1 + g_{1, мбэ} R_{12}} = \frac{4,18 \cdot 3750}{1 + 4,18 \cdot 750} = 1,29 \quad (2.25)$$

Амплитуда напряжения и тока входного сигнала каскада:

$$U_{мбэ} = \frac{U_{вх}}{K_{U, вх}} = \frac{5,66}{1,29} = 4,39 \text{ В}$$

(2.26)



$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R_{ex}} = \frac{0,136}{136}$$

(2.27)

Находим входную мощность каскада:

$$P_{вх} = \frac{U_{вх}^2}{R_{вх}} = \frac{0,136^2}{2} = 0,0092 \text{ Вт} \quad (2.28)$$

Определим уточненное значение выходной мощности каскада:

$$P_{вх} = \frac{P_{вых}}{K^2} = \frac{0,0092}{2} = 0,0046 \text{ Вт} \quad (2.29)$$

Определим коэффициент усиления по мощности:

$$K^2 = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = \frac{0,0092}{0,0046} = 2 \quad (2.30)$$

## 2.3 Расчет каскадов усиления на операционных усилителях

Входным сигналом у нашего устройства является электретный микрофон ЕСМ-66С. Чувствительность микрофона на частоте 1 кГц составляет 1 В/мкбар. Сила звука для очень сильного шума составляет 80 дБ. Звуковое давление шума из силы звука можно рассчитать, используя материалы ГОСТ 31296.1-2005 (ИСО 1996-1:2003). В результате преобразований была получена величина максимального сигнала с микрофона для очень сильного шума и составила  $U_{мсиг} = 11 \text{ мВ}$ .

Опираясь на эти данные можно рассчитать необходимый коэффициент усиления для двух каскадов усилителя:

$$K^2 = \frac{U_{вых}^2}{U_{вх}^2} = \frac{0,136^2}{0,011^2}$$

(2.31)

Первый каскад усиления собран как инвертирующий усилитель на ОУ. Коэффициент усиления по напряжению этого каскада может быть определен из выражения:

$$K_{U1} = \frac{R_7}{R_3} \quad (2.32)$$

Коэффициент усиления для первого каскада должен быть несколько больше величины  $(K_{U12})^{1/2} = 22,8$ . Задавшись величиной резистора  $R_3$  1 кОм, получаем для  $R_7$  расчетную величину сопротивления:

$$R_7 = R_3 \cdot K_{U1} \quad (2.33)$$

В соответствии с рядом номинальных значений, выбираем согласно [L4] для  $R_3$  чип-резистор RC2012-J-1 кОм  $\pm 5\%$  (chip 0603) Cinetech с номинальной мощностью 0,1 Вт и для  $R_7$  чип-резистор RC2012-J-27 кОм  $\pm 5\%$  (chip 0603) Cinetech с номинальной мощностью 0,1 Вт. При таком выборе параметров резисторов коэффициент усиления первого каскада составит согласно выражению 2.32:

$$K_{U1} = \frac{2700}{1000}$$

Ориентировочная величина коэффициента усиления второго каскада должна составлять:

$$K_{U2} = \frac{K_{U1} \cdot 521}{K_{U1} \cdot 27} \quad (2.34)$$

Второй каскад усиления собран как неинвертирующий усилитель на ОУ. Коэффициент усиления по напряжению этого каскада может быть определен из выражения:

$$K_{U2} = 1 + \frac{R_{11}}{R_{10}}$$

(2.35)

Задавшись величиной сопротивления резистора  $R_{10}$  в 4,7 кОм, определим расчетное значение величины сопротивления резистора  $R_{11}$ :

$$\frac{K_{\text{ср}}}{K_{\text{ср}}} = \frac{9100}{4700} \quad (2.36)$$

В соответствии с рядом номинальных значений, выбираем согласно [L4] для R10 чип-резистор RC2012-J-4,7 кОм ±5% (chip 0603) Cinetech с номинальной мощностью 0,1 Вт, а для R11 чип-резистор RC2012-J-91 кОм ±5% (chip 0603) Cinetech с номинальной мощностью 0,1 Вт. При таком выборе параметров резисторов коэффициент усиления второго каскада составит согласно выражению 2.35:

$$K_{\text{ср}} = \frac{9100}{4700}$$

Коэффициент усиления двух каскадов составит:

$$K_{\text{ср}} = 521$$

Полученный коэффициент усиления двух каскадов несколько больше рассчитанного выше (521), но такое превышение вполне допустимо.

#### 2.4 Проверка работоспособности разработанной схемы принципиальной.

Для проверки и снятия окончательных результатов была использована программа Multisim 11. Для понятия работоспособности схемы были сняты выходные амплитудно-частотные характеристики. Входные амплитудно-частотные характеристики задавались настройками генератора синусоидальных сигналов.

В ходе проведения испытаний через схему пропускался синусоидальный вид сигнала. Так как звуковые волны имеют синусоидальную форму – остальные виды сигналов не нуждались в испытании.

Испытания проводились для синусоидальных волн частотой: 50, 100, 250, 600, 800, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000 и 20000 Гц.

В ходе испытания конфигурация и настройки схемы оставались неизменными. Изменениям подвергались: параметры генератора и масштаб шкал осциллографа.

### Испытание 1.

Частота: 50 Гц

Амплитуда: 5 В

Масштаб сетки осциллографа: 10 мс/дел

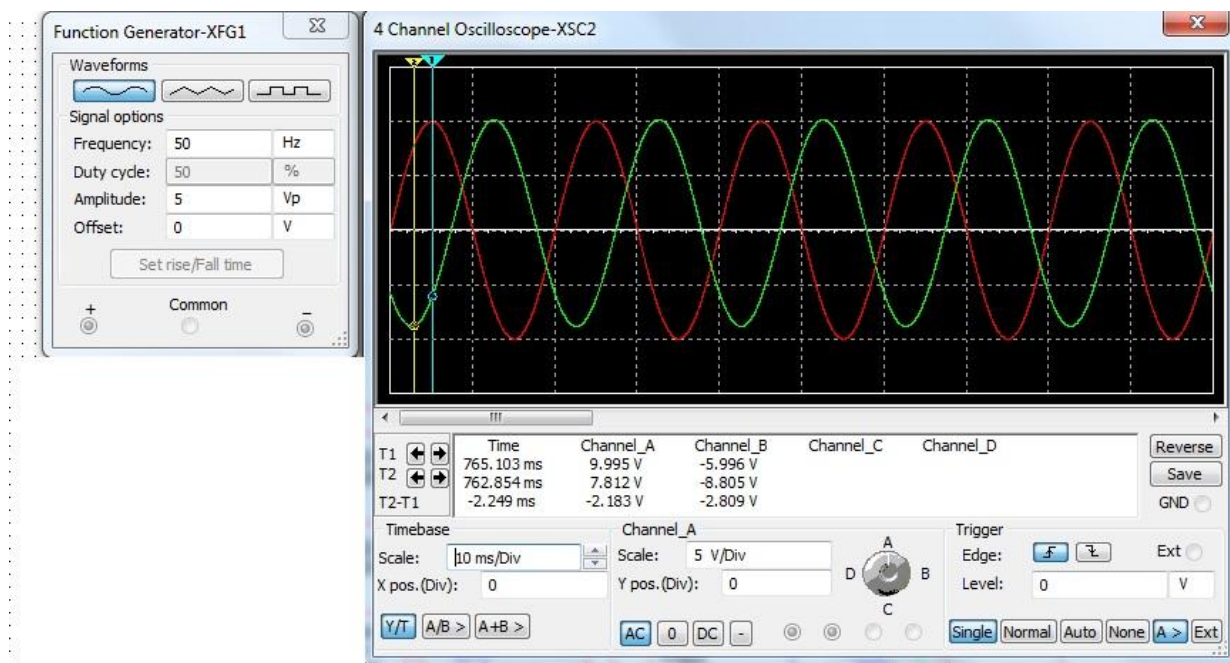


Рис. 2.4.1

Показатели осциллографа при частоте сигнала 50 Гц

### Испытание 2.

Частота: 100 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 5 мс/дел

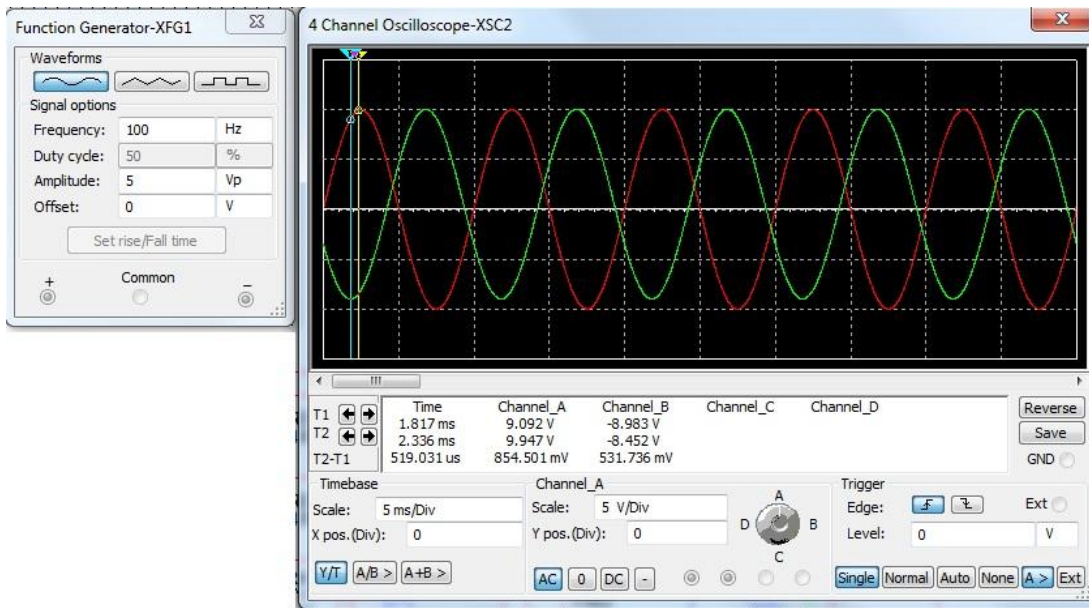


Рис 2.4.2 Показатели осциллографа при частоте сигнала 100 Гц

### Испытание 3.

Частота: 250 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 2 мс/дел

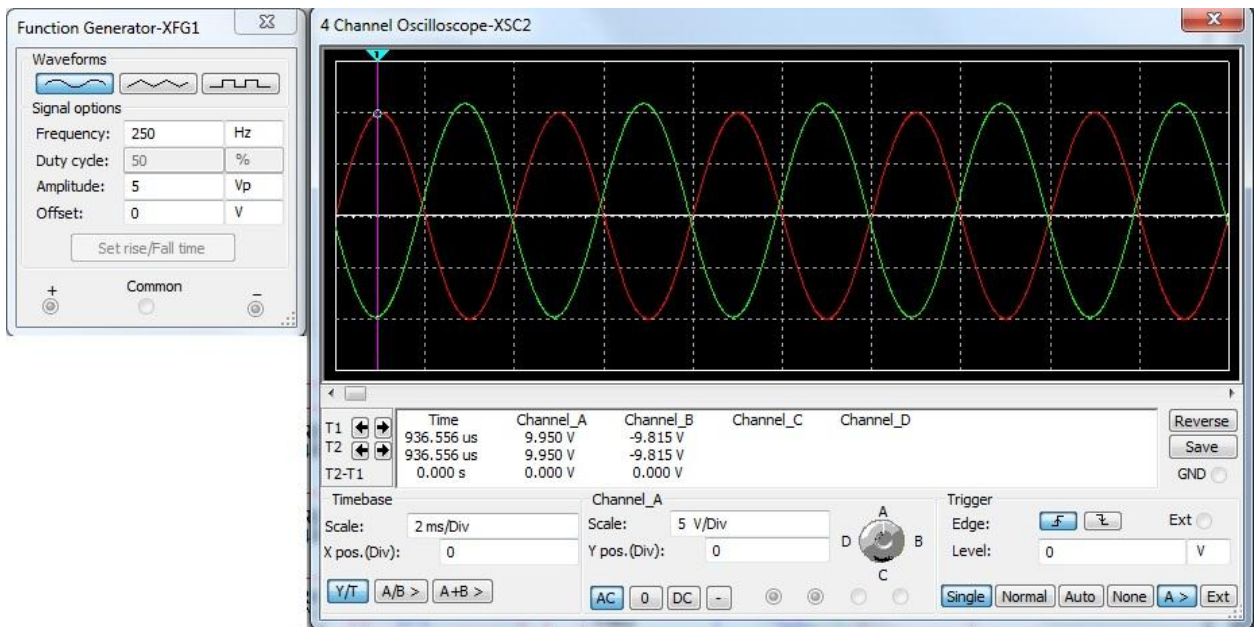


Рис 2.4.3 Показатели осциллографа при частоте сигнала 250 Гц

### Испытание 4.

Частота: 600 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 1 мс/дел

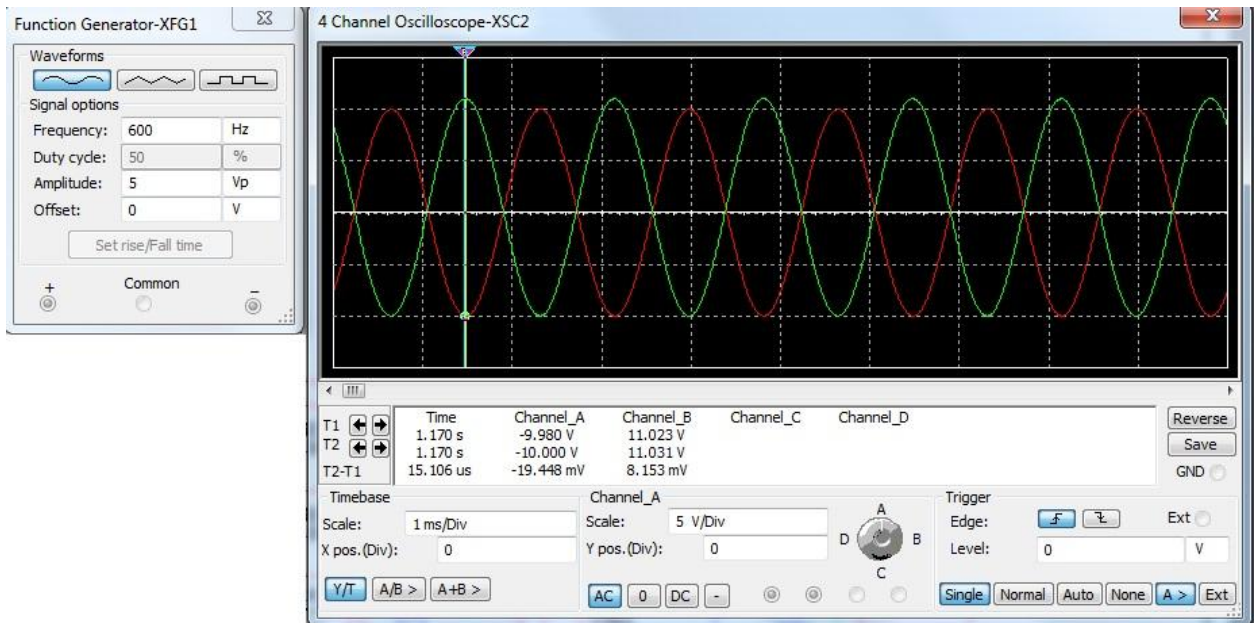


Рис 2.2.4 Показатели осциллографа при частоте сигнала 600 Гц

### Испытание 5.

Частота: 800 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 1 мс/дел

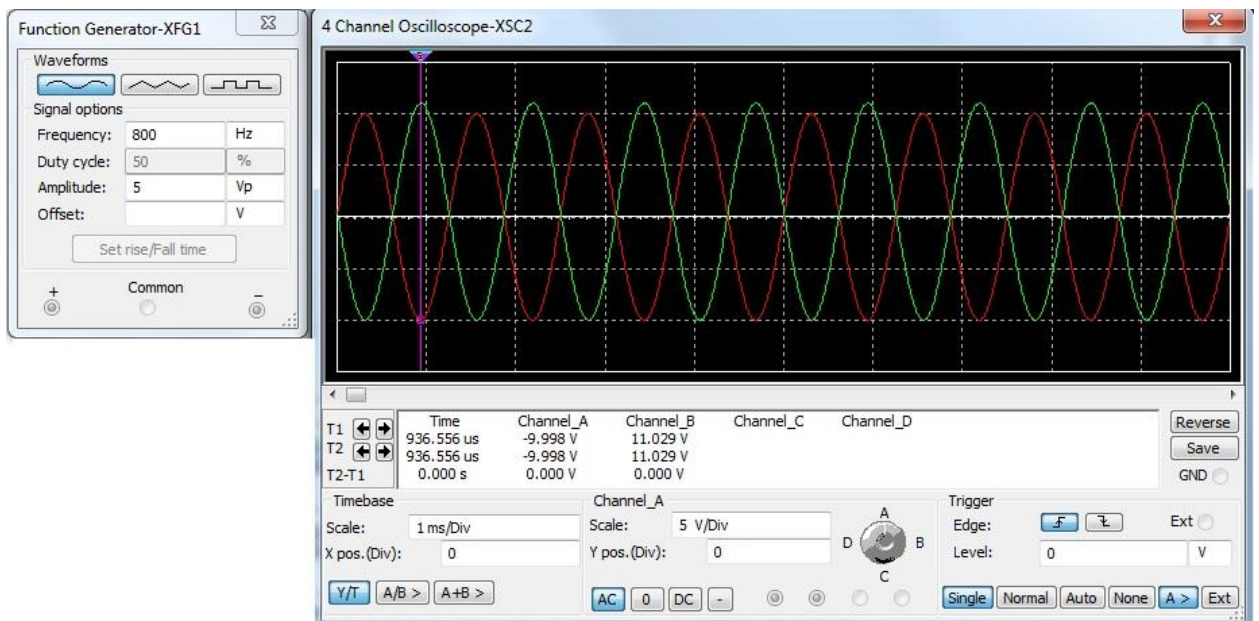


Рис 2.4.5 Показатели осциллографа при частоте сигнала 800 Гц

### Испытание 6.

Частота: 1000 Гц



Масштаб сетки осциллографа: 1 мс/дел

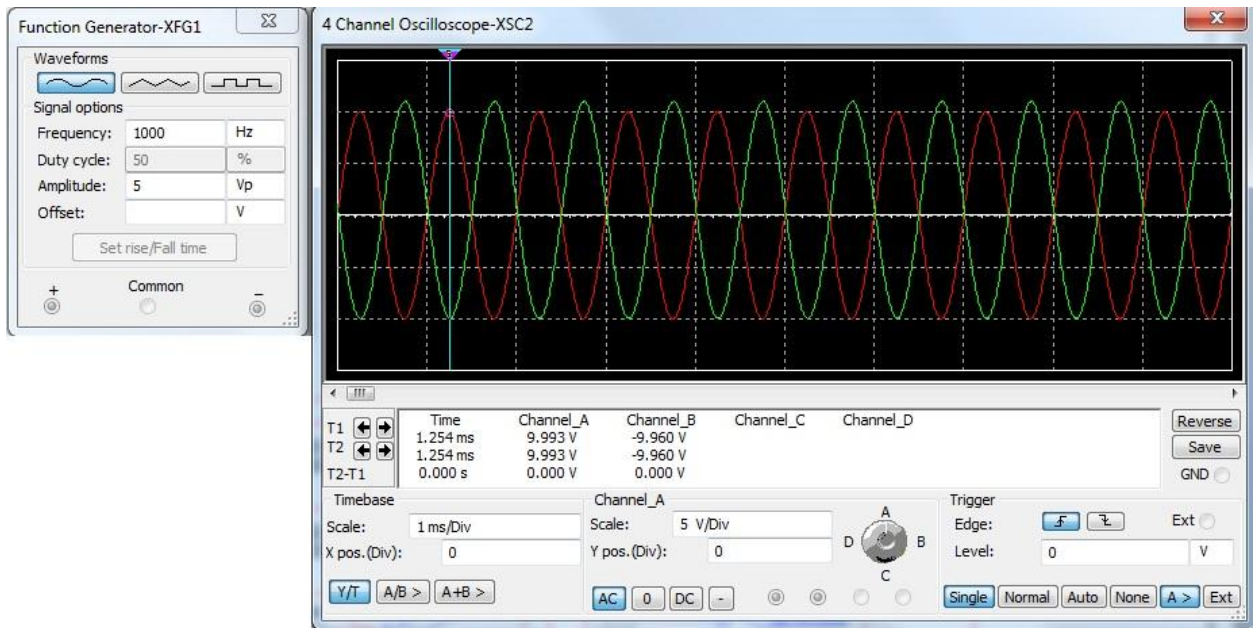


Рис 2.4.6 Показатели осциллографа при частоте сигнала 1000 Гц

### Испытание 7.

Частота: 2000 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 500 мкс/дел

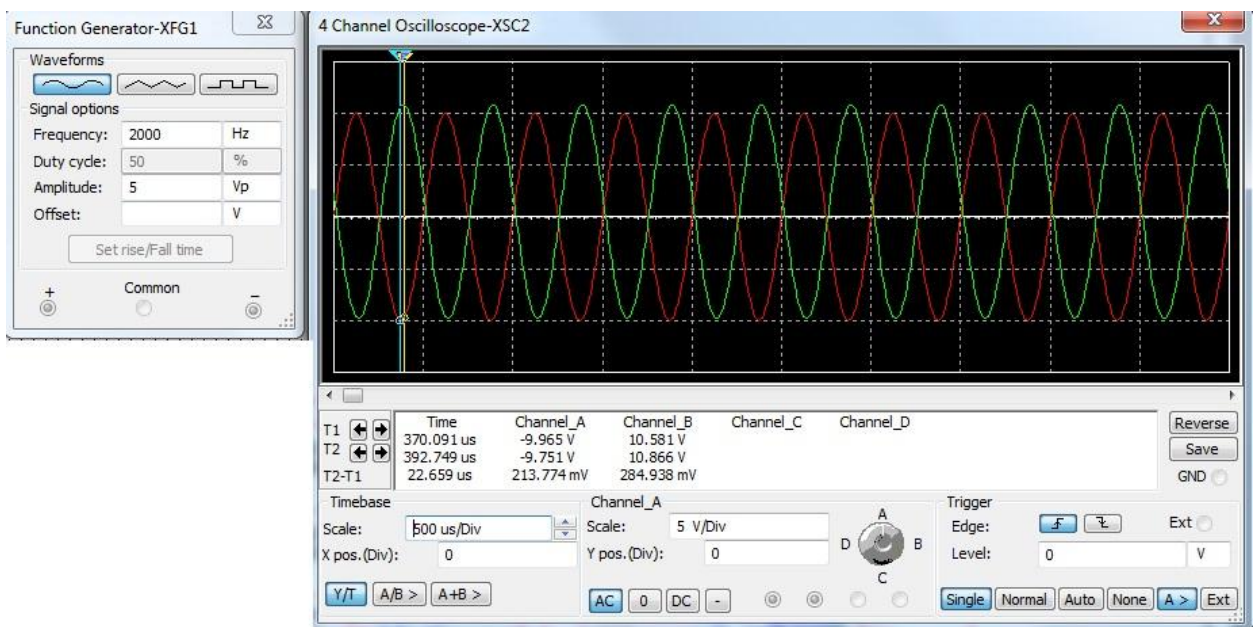


Рис 2.4.7 Показатели осциллографа при частоте сигнала 2000 Гц

### Испытание 8.

Частота: 4000 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 200 мкс/дел

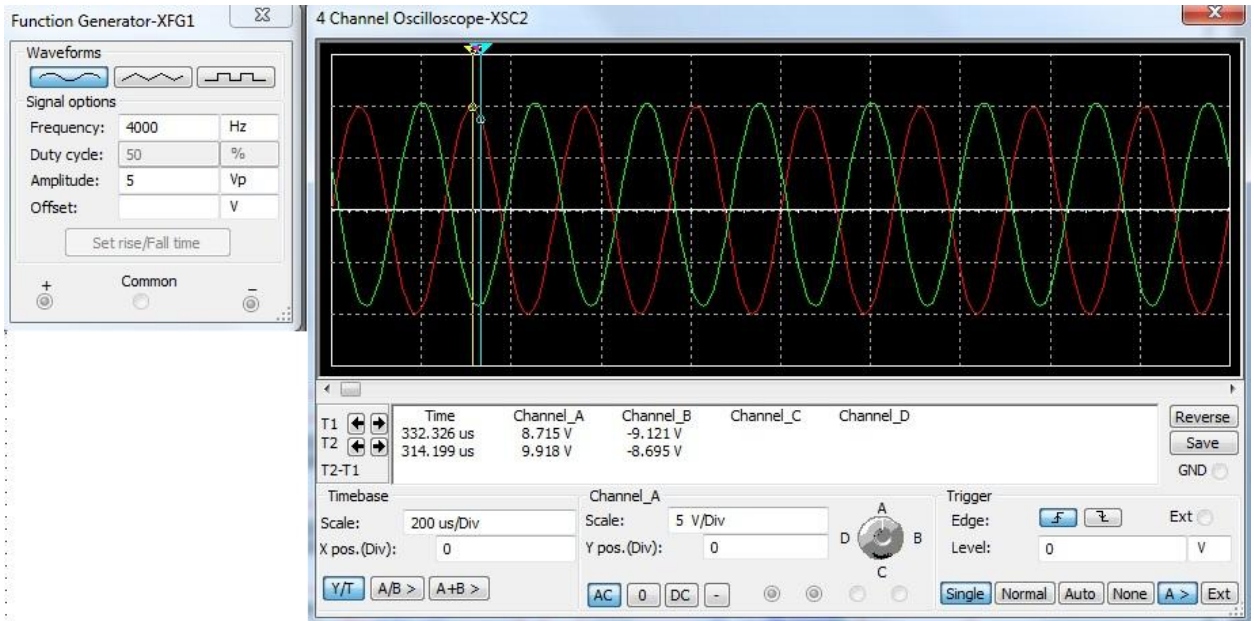


Рис 2.4.8 Показатели осциллографа при частоте сигнала 4000 Гц

### Испытание 9.

Частота: 6000 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 200 мкс/дел

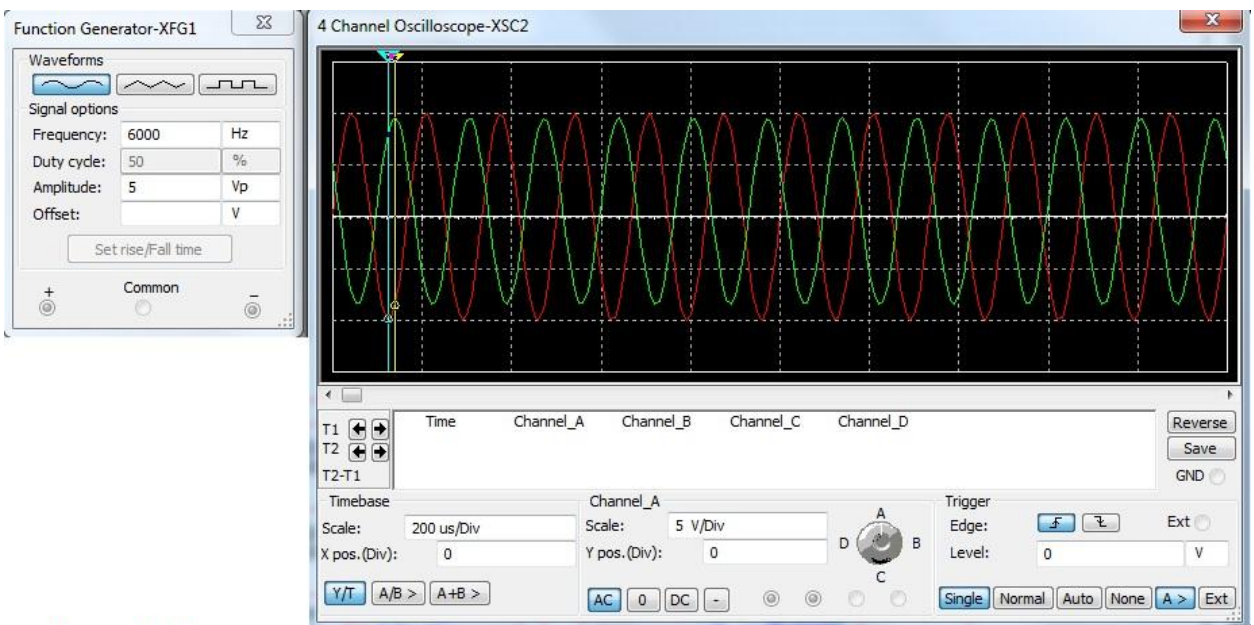


Рис 2.4.9 Показатели осциллографа при частоте сигнала 6000 Гц

### Испытание 10.

Частота: 8000 Гц



Масштаб сетки осциллографа: 100 мкс/дел

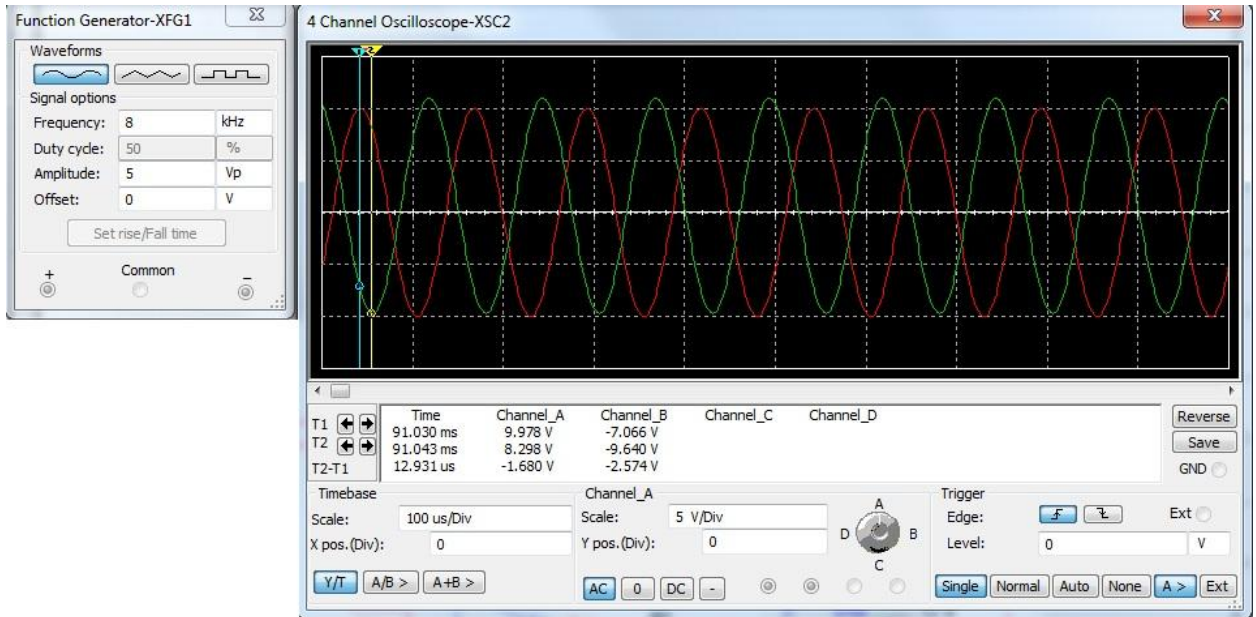


Рис 2.4.10 Показатели осциллографа при частоте сигнала 8000 Гц

### Испытание 11.

Частота: 10000 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 100 мкс/дел

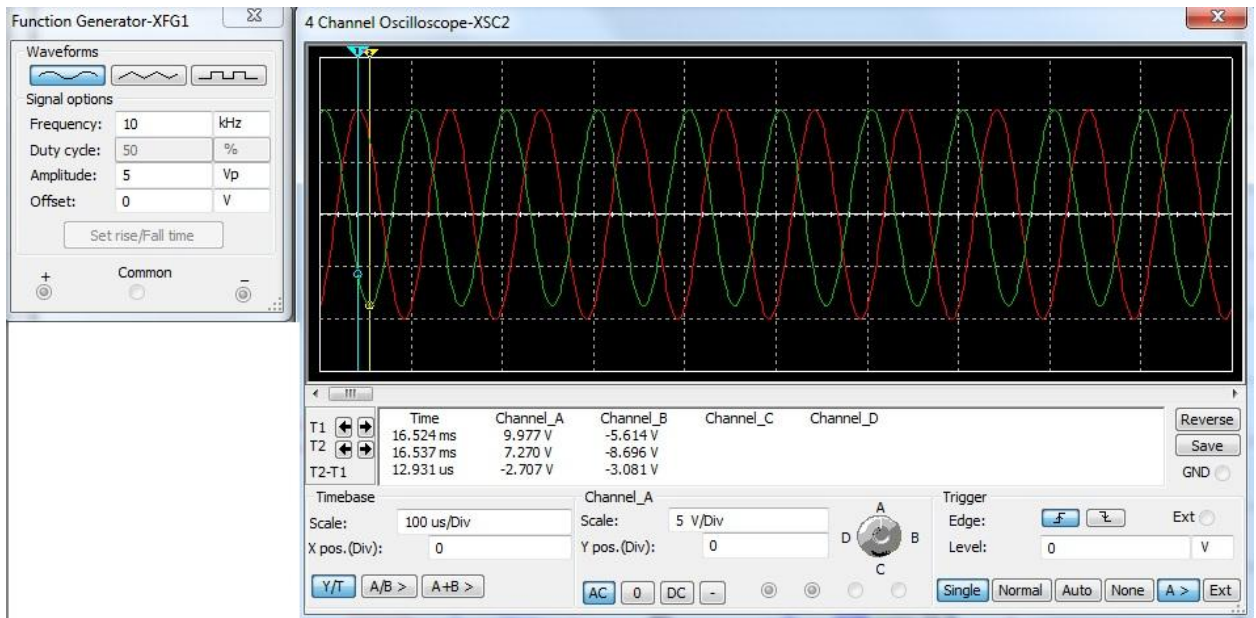


Рис 2.4.11 Показатели осциллографа при частоте сигнала 10000 Гц

### Испытание 12.

Частота: 12000 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 100 мкс/дел

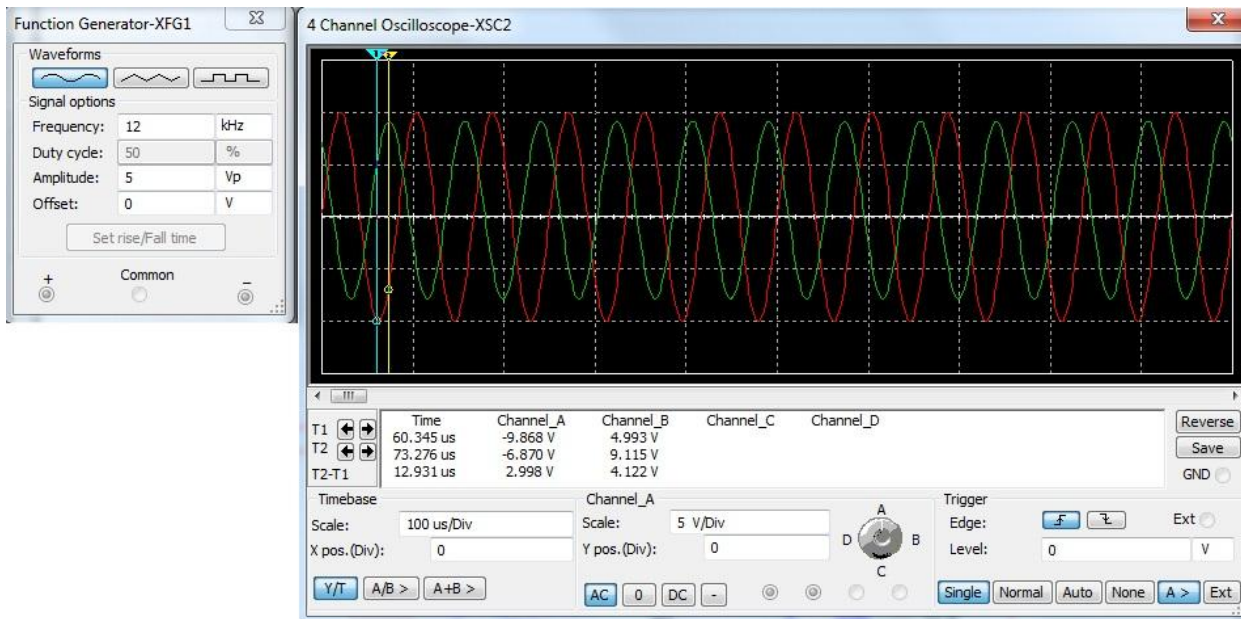


Рис 2.2.12 Показатели осциллографа при частоте сигнала 12000 Гц

### Испытание 13.

Частота: 20000 Гц

Масштаб сетки осциллографа: 50 мкс/дел

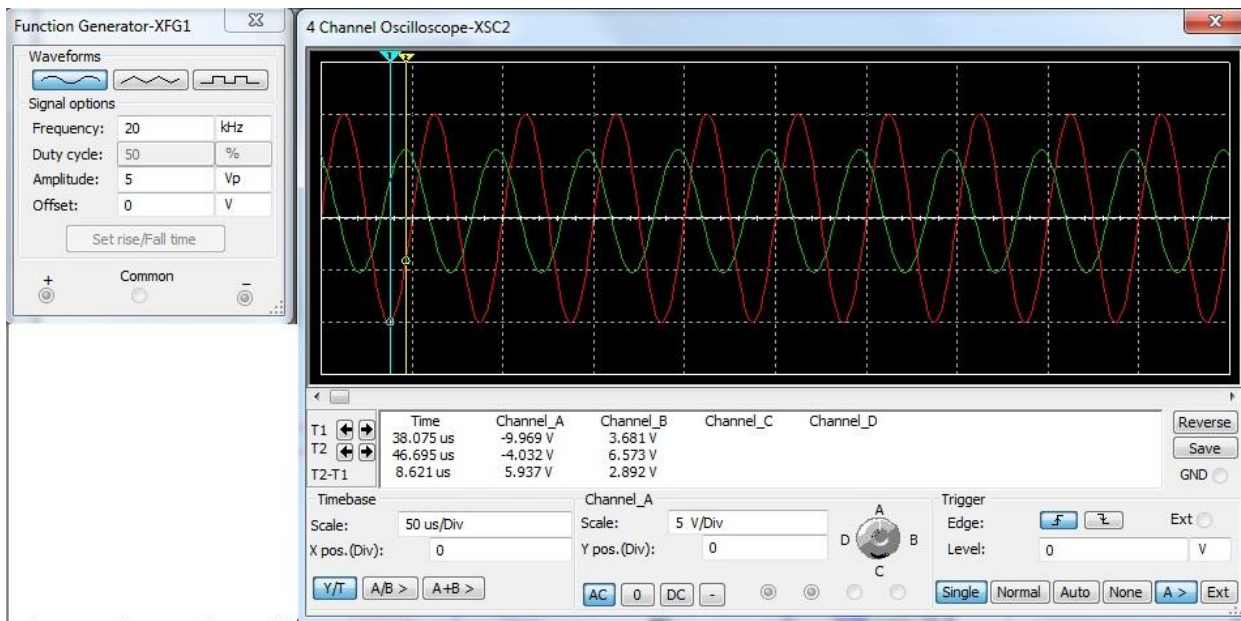


Рис 2.4.13 Показатели осциллографа при частоте сигнала 20000 Гц

## 2.5 Результаты проведенных испытаний

Всего было проделано 13 сравнительных измерений амплитудно-частотных характеристик. Синусоидальная волна красного цвета на рабочем экране виртуального осциллографа – входящий сигнал( сигнал от микрофона).

Синусоида зеленого цвета – выходной сигнал в противофазе входному.

Исходя из полученных результатов, при данных параметрах схемы, опережение по фазе полученного сигнала от исходного при частоте 50 Гц приблизительно равно 0,25 периода. При частоте входного сигнала 100Гц – опережение выходного сигнала 0,1 периода. Что составляет:

$$t=A*(1/V), где$$

*t – время задержки в секундах, A – задержка сигнала( период ), V – частота, заданная виртуальным генератором.*

$$t(1)= 0.25 * (1/50) = 0.005 \text{ с} \quad (3.1)$$

$$t(2) = 0.1 * (1/100) = 0.001 \text{ с} \quad (3.2)$$

На частотах от 250 Гц до 2000 Гц фаза исходного сигнала совпадает с фазой полученного сигнала( на осциллографе расхождение фаз не обнаружилось).

Следовательно, задержка равна нулю:

$$t(3) = 0 * (1/250) = 0 \text{ с}, \quad (3.3)$$

$$t(4) = 0 * (1/600) = 0 \text{ с}, \quad (3.4)$$

$$t(5) = 0 * (1/800) = 0 \text{ с}, \quad (3.5)$$

$$t(6) = 0 * (1/1000) = 0 \text{ с}, \quad (3.6)$$

$$t(7) = 0.05 * (1/2000) = 0.000025 \text{ с} \quad (3.7)$$

На частотах от 4000 Гц фаза полученного сигнала начинает отставать от исходного сигнала. В диапазоне частот от 4000 Гц до 8000 Гц разница фаз составляет 0,15 периода волны.

$$t(8) = 0.15 * (1/4000) = 0.0000375 \text{ с}, \quad (3.8)$$

$$t(9) = 0.15 * (1/6000) = 0.000025 \text{ с}, \quad (3.9)$$

$$t(10) = 0.15 * (1/8000) = 0.000018 \text{ с}, \quad (3.10)$$

В диапазоне частот 8000 Гц – 20000 Гц наблюдается наиболее выраженное расхождение фаз сигналов. Контрольные точки измерений показывают следующие результаты:

При частоте 10000 Гц – задержка полученного сигнала равна 0,2 периода;

При частоте 12000 Гц – задержка полученного сигнала равна 0,25 периода;

При частоте 20000 Гц – задержка полученного сигнала равна 0,3 периода;

Вычислим показатель отставания сигнала в секундах:

$$t(11) = 0.2 * (1/10000) = 0.00002 \text{ с}, \quad (3.11)$$

$$t(12) = 0.25 * (1/12000) = 0.0000208 \text{ с}, \quad (3.12)$$

$$t(13) = 0.3 * (1/20000) = 0.000015 \text{ с} \quad (3.13)$$

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что максимальная эффективность работы данной схемы будет находиться в диапазоне частот от 250 Гц до 8000 Гц.

На частотах от 10000 до 20000 Гц эффективность работы схемы снижается за счет расхождения фаз исходного и выходного сигналов. Но

данный факт не является критичным недостатком схемы за счет маловероятного появления шумов в данном диапазоне в условиях квартирной или офисной эксплуатации в населенных пунктах. Так же данную задержку в электрической части устройства будет компенсировать низкая скорость звука относительно работы электронной схемы.

## 3 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Общие положения по разработке печатной платы

В конструкторской части проекта проведем разработку печатной платы проектируемого устройства для активного шумоподавления. На печатной плате располагаются все элементы схемы, и обеспечивается их правильное соединение. При этом трассировка печатной платы оказывает существенное влияние на качество работы усилителя и уровень возникающих шумов в сигналах, а также на тепловые режимы работы установленных на плате компонентов. Часто недостаточно продуманная топология платы может привести к нестабильной работе устройства, а также к локальному перегреву установленных компонентов. Для получения оптимального проекта печатной платы устройства для активного шумоподавления при проектировании следует учитывать следующие важные рекомендации:

- необходим правильный выбор типа печатной платы (односторонняя, двусторонняя, многослойная и т. д.);
- выполнять развязку по питанию для каждой нагрузки;
- ограничение длины проводников;
- правильное размещение соединительных разъемов;
- правильное использование и размещение фильтров и пассивных элементов;
- правильный выбор системы охлаждения (конвекция, излучение) в зависимости от условий конструкции устройства.

В настоящее время в схемотехнике широко используются элементы выполненные по SMD - технологии. SMD (Surface Mounted Device) переводится с английского как "компонент, монтируемый на поверхность". SMD-компоненты также иногда называют ЧИП-компонентами.

Процесс монтажа на плату, и пайки ЧИП-компонентов более правильно называть SMT-процессом (от англ. «surface mount technology» – технология поверхностного монтажа). Говорить «SMD-монтаж» несколько не правильно, но в России сложилось именно так называть вариант техпроцесса, поэтому и мы сохраним такое обозначение.

Использование ЧИП-компонентов позволяет получить компактную печатную плату, причем такая же плата, выполненная на DIP-элементах, будет иметь в несколько раз большие габариты.

SMD монтаж имеет неоспоримые преимущества перед обычным монтажом:

- радиодетали дешёвы в производстве и могут быть достаточно миниатюрны;
- печатные платы обходятся дешевле из-за отсутствия множественной сверловки;
- монтаж легко автоматизировать - установку и пайку компонентов производят специальные роботы. Также отсутствует такая довольно трудоемкая технологическая операция, как обрезка выводов.

### 3.1.2 Разработка печатной платы

В нашей схеме все элементы могут быть выполнены по SMD - технологии. Поэтому проведем разработку печатной платы с односторонним расположением элементов и односторонним расположением печатных проводников. Данное решение позволит уменьшить стоимость изготовления платы и позволит разместить плату одной стороной в непосредственной близости к корпусу устройства.

Конструктивно плату будем размещать вертикально, что улучшит охлаждение элементов и проводников платы.

При разработке печатной платы надо соблюдать следующие рекомендации, выполнение которых необходимо для улучшения характеристик устройства:

подвод сигнала от микрофона по экранированному проводу должен подходить как можно ближе к входу первого каскада усиления;

диоды VD1 и VD2 должны располагаться в непосредственной близости от транзисторов VT1, VT2 выходного каскада, что обеспечит термокомпенсацию при перегреве транзисторов;

непосредственно рядом с корпусом операционного усилителя U1 должен быть установлен конденсатор C5 100 мкФ для повышения стабилизации питания начальных каскадов усиления.

С учетом рекомендаций была проведена разработка конструкции печатной платы устройства. Для разработки печатной платы использовалась программа ExpressPCB. Данная программа предназначена для ручного создания двусторонних печатных плат на основе принципиальной схемы устройства.

После предварительной разработки в программе ExpressPCB печатного монтажа платы, была выполнена доработка монтажа в программе КОМПАС. Было проведено увеличение ширины дорожек в зонах со значительной токовой нагрузкой. Расширение площади дорожек также выполнено около коллекторов транзисторов VT1, VT2 для обеспечения охлаждения этих элементов. Также выполнено скругление углов проводящих дорожек, это уменьшает вероятность возникновения отслаивания дорожки от вибраций и воздействий электромагнитных и электростатических сил.

Плата будет изготавливаться из одностороннего стеклотекстолита FR-4 18/0 1.0 IPC 4101V.

Полученные габариты печатной платы составляют 105x55 мм. Внизу платы расположены два отверстия диаметром 2,3 мм для крепления платы.



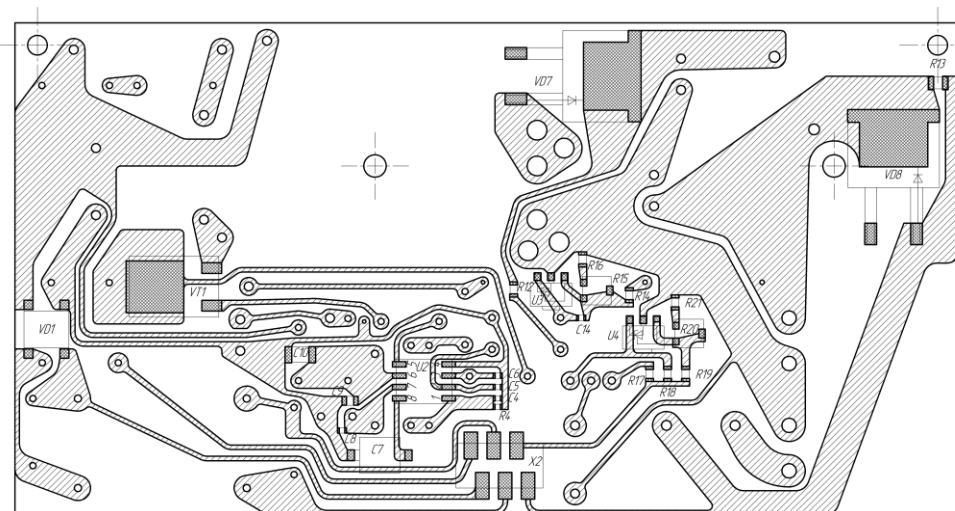


Рис.3.1 Печатная плата со стороны SMD-монтажа элементов

На рисунке 3.1 показана монтажная плата со стороны SMD-монтажа элементами, имеющими планарные выводы.

### 3.2 Принцип размещения элементов устройства в помещении.

Исходя из имеющихся данных, приведенных в главе 1.1 «Воздействие шума на организм человека» и результатов испытаний схемы принципиальной устройства для активного шумоподавления, описанных в главе 2.1 можно сделать вывод о том, что наиболее вредоносные и распространенные шумовые частоты совпадают с частотным диапазоном наиболее эффективной работы устройства от 2000 до 8000 Гц.

Для выбора мест для размещения элементов устройства нам необходимо знать среднее значение отставания по фазе обработанного сигнала от исходного в секундах.

$$T_{cp} = (0,000025 + 0,0000375 + 0,000025 + 0,000018) * 0,25 = 0,0000263 \text{ с} \quad (3.2.1)$$

Исходя из значения  $T_{cp} = 0,0000263 \text{ с}$  вычислим дистанцию, пройденную звуковой волной. Скорость звука в воздухе является константой

и равна 340 м/с. Так как слой оконного стекла очень тонкий, он существенно не повлияет на значение пройденного расстояния звуковой волной за время  $T_{ср}$ .

$$L = 340 * T_{ср}, \text{ где}$$

$L$  – расстояние,  $T_{ср}$  – среднее значение расхождения по фазе в секундах

$$L = 340 * 0,0000263 \approx 0.01 \text{ м} \quad (3.2.2)$$

Получившееся значение расстояния указывает на то, что для максимального совпадения шумовых и инвертированных звуковых волн, микрофон, улавливающий шумы и динамик, воспроизводящий обработанный сигнал должны располагаться максимально близко друг к другу.

Для исключения шумового влияния динамика на микрофон предусматриваем специальный корпус для динамика, заполненный звукоизоляционным материалом из пенополиуретана внутри и оклеенный шумоизоляционной лентой Вибростек снаружи. Конструкция корпуса должна быть выполнена из фанеры толщиной 2,5мм. Проклейка стыковочных швов выполняется анаэробным клеем/герметиком АН-105. Его характеристики предусматривают устойчивость к вибрациям, стойкость на сдвиг и разрыв. Данный клей не является токсичным при работе в температурном диапазоне - 60...+200 градусов по Цельсию. Устойчив к перепадам температур. Чертеж корпуса для динамика приведен на рисунке 3.2.1

Схематичное изображение размещения элементов устройств в жилой комнате площадью 12 кв. м. представлено на рисунке 3.2.2.

Под обозначением «Д» – схематично показано расположение корпуса с динамиком. Рекомендуется располагать динамик посередине оконного проема в одной плоскости с микрофоном.

Под обозначением «М» - схематично показано изображение микрофона на улице. Его расположение, так же, рекомендовано посередине оконного проема, в одной плоскости с динамиком.

Под обозначением «У» - схематично показано расположение модуля приема и обработки сигналов. Его расположение функционально никак не влияет на работу устройства, расположить его можно в любой части комнаты. Для удобства мы расположили его на тумбе слева от кровати.

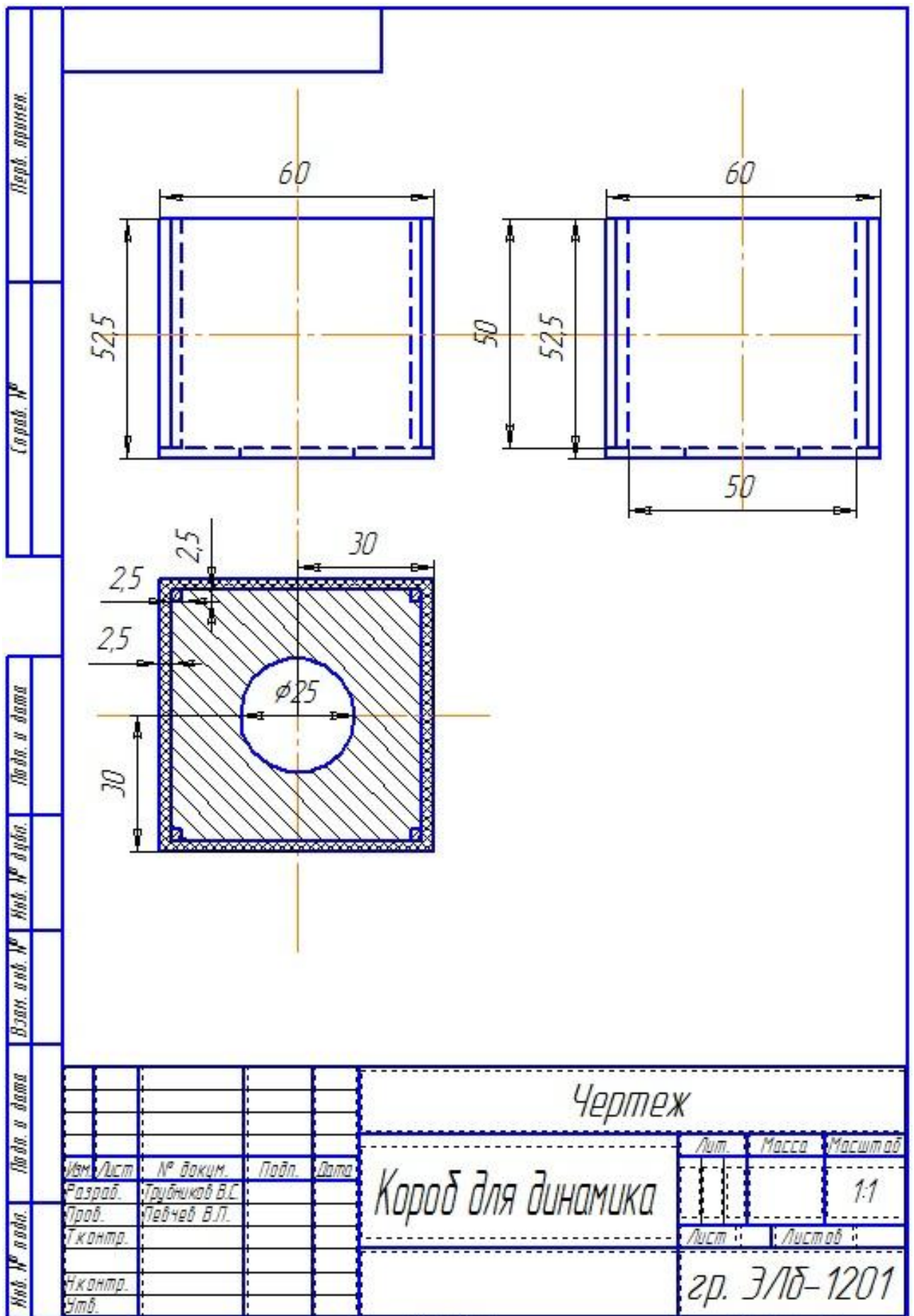


Рис. 3.2.1 Чертеж короба для динамика



### 3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

Рассмотрим вопросы безопасного использования спроектированного устройства для активного шумоподавления. За основу рассмотрения возьмем перечень опасных и вредных производственных факторов приведенный в ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ.

В ГОСТ-е Опасные и вредные производственные факторы подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Для спроектированного устройства для активного шумоподавления характерными являются только физические факторы риска, остальные являются несущественными.

Среди перечисленных в ГОСТ-е физических опасных и вредных производственных факторов следует выделить следующие:

- повышенный уровень ультразвука, при неправильном использовании устройства;
- повышенный уровень электромагнитных излучений.
- повышенное шумовое загрязнение жилого помещения, при неправильном использовании устройства.

Разработанное устройство для активного шумоподавления имеет автономное питание от щелочных гальванических элементов типа АА, с номинальным напряжением 15В, находящихся в отдельном корпусе от модуля обработки и усиления сигналов. Следовательно, данное устройство максимально изолировано от контакта пользователя с внутренними элементами. Так же данный тип источника питания абсолютно безопасен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнена разработка конструкции устройства для активного шумоподавления, способного снижать уровень шума в помещении 12 кв.м. в частотном диапазоне 20...20000 Гц.

Рассмотрены существующие варианты устройств для активного шумоподавления. Поставлена задача разработки аналогового устройства для активного шумоподавления с низкой себестоимостью изготовления, что позволит внедрить данные устройства на российский рынок с конкурентной стоимостью.

Во втором разделе проведена разработка принципиальной схемы аналогового устройства для активного шумоподавления. Проведено моделирование работы схемы, подтвердившее правильность выбранных параметров элементов. В третьем разделе выполнена разработка печатной платы источника с использованием двустороннего монтажа элементов схемы.

В четвертом разделе рассмотрены вопросы безопасности и экологичности конструкции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Основы радиоэлектроники и связи» Нефедов В.И. М.: «Высшая школа» 2002
2. «Основы микроэлектроники» Степаненко И.П. М.: «Лаборатория базовых знаний» 2003
3. «Аналоговая и цифровая электроника» Ю.Ф. Опадчий М.: «Горячая линия - телеком» 2004
4. «Источники питания радиоэлектронной аппаратуры» М.: «Горячая линия - телеком» 2003
5. «Основы цифровой электроники» Р.Токхейм М.: «Мир» 1988
6. «Элементы радиоэлектронных устройств» М.: «Радио и связь» 1988
7. «Полупроводниковые приборы» Б.Л. Перельман. Справочник М.: «НТЦ Микротех» 2000
8. «Схемотехника аналоговых электронных устройств» В.Н. Павлов М.: «Горячая линия - телеком» 2002
9. Розанов В.С. Безопасность жизнедеятельности, Электробезопасность.- М. МИРЭА (ТУ), 1999.
10. ЛССБТ. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
11. Collin N. Hansen «Understanding Active Noise Cancellation» 1<sup>st</sup> edition.
12. Nick Dossis «Basic Electronics – for tomorrow’s inventors»
13. Charles Platt «Encyclopedia of Electronic Components Volume 1» 2012
14. M.I Bazu, T.I. Bajenescu «Reliability of electronic components»
15. Robert Boylestad «Electronics devices and circuit theory»
16. Лаврентьев Б.Ф. «Схемотехника электронных средств» Уч. пособ. 2010 год
17. Алейников А.Ф., Гридчин В.А., Цапенко М.П. «Датчики (перспективные направления развития)» Учеб. пособие 2001 год



18. Барыбин А.А. «Электроника и микроэлектроника. Физикотехнологические основы» Уч. пособие. 2006 год
19. Богатырев Е.А., Ларин В.Ю., Лякин А.Е. «Энциклопедия электронных компонентов. Том 1. Большие электронные схемы» 2006 год
20. М. Браун. «Источники питания. Расчет и конструирование» 2007 год
21. [L2] Королев Г. В. Электронные устройства автоматики: Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк.— 1991. — 256 с.
22. [L1] Datasheet КТ814, <http://www.50om.com/tranzistor-kt814a-g-xarakteristiki-analog-zamena/>
23. ГОСТ 31296.1-2005 (ИСО 1996-1:2003)
24. Datasheet BZT52 <http://www.diodes.com/files/datasheets/ds30093.pdf>
25. [L3] Datasheet BAV99W, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/14651/PANJIT/BAV99W.html>
26. [L4] Электронные компоненты для поверхностного монтажа. Каталог II квартал 2014 года., <http://www.smd.ru>