

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО ПАССИВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТОРА

А.И. Сукачев, Н.А. Глаголев, М.С. Рябых, Е.А. Сукачева

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

**Аннотация:** рассматривается структурная схема разрабатываемого мобильного акустического детектора сигналов. Из соображения кругового приёма сигналов было выбрано используемое в решении количество микрофонов, а также места их крепления на базе шлема. Определено следующее: оптимальная модель микрофонов исходя из критериев чувствительности, частотного диапазона, низкого уровня собственного шума; модель усилительного элемента, обеспечивающего согласование микрофона и входа усилительного каскада; модель аналого-цифрового преобразователя (АЦП), обеспечивающего качественное преобразование аналогового сигнала в цифровой. Представлено схемотехническое решение разрабатываемого устройства. Проведено моделирование аналогового блока приёма сигнала при уровнях входного сигнала 100 мкВ, 10 мВ, 100 мВ, 500 мВ. Получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) усилителя и аудиопреобразователя. По уровням несущей и побочных гармоник на выходе модели усилителя звуковой частоты (УЗЧ) при уровне входного сигнала 10 мВ и частоте 1 кГц был получен коэффициент нелинейных искажений составил 0,147 %, что удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к системе. Разработана модель аудиопреобразователя и проведено ее моделирование. Сформирована топология печатной платы, учитывающая то, что разрабатываемая система является мобильной, печатная плата должна обладать низким уровнем внешних наводок. При проектировании печатной платы учитывалось требование перекрытия линий питания и сигнальных линий на верхнем и нижнем слоях. Для предотвращения появления фазовых сдвигов сигналов учитывалась симметрия расположения микрофонов

**Ключевые слова:** цифровая обработка сигналов, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), усилитель, аудиопреобразователь, схемотехническое решение, топология печатной платы

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FZGM-2025-0002)

### Введение

В современном мире вопросы обеспечения безопасности и защиты от потенциальных угроз становятся всё более актуальными. Одной из таких угроз являются БПЛА, которые могут использоваться в различных целях, включая разведывательные, террористические и другие.

Для того, чтобы устранить угрозы, связанные с несанкционированным применением БПЛА, на первом этапе используют различные методы обнаружения. Одним из таких методов является акустический метод обнаружения. Этот метод в прошлом применялся для обнаружения самолётов и показывал результат при удалении объекта от пункта обнаружения в несколько километров. С развитием систем радиолокации, обладавших большей дальностью и точностью обнаружения, от применения этого метода отказались. Тем не менее в настоящее время акустические системы развиваются и имеют дальнейшие перспективы по их использованию для обнаружения малораз-

мерных низколетящих БПЛА. Они напрямую связаны с машинным обучением и внедрением нейронных сетей, а также разработкой алгоритмов для более детальной обработки акустических сигнатур в приемной части системы. Всё это в совокупности может повысить вероятность обнаружения и идентификации объекта на фоне шумов окружающей среды.

Актуальность темы акустических систем обнаружения БПЛА обусловлена необходимостью разработки эффективных методов обнаружения и идентификации БПЛА в различных условиях эксплуатации. Акустические системы обнаружения представляют собой перспективное направление в области обеспечения безопасности, поскольку они могут обеспечить обнаружение БПЛА в режиме реального времени со степенью уверенности не ниже заданного значения на различных расстояниях и в различных условиях эксплуатации.

### Разработка структурной схемы изделия

В качестве базы для крепления анализатора акустических сигналов предполагается использование шлема, что обеспечивает должную мобильность всей системы. Для кругового

приема сигнала используются четыре микрофона, которые располагаются на боковых крепежных планках шлема. Цепи усиления и оцифровки сигнала располагаются на одной печатной плате, которая представляет собой блок приема сигнала (БПС). Данное решение обусловлено тем, что на каждой стороне шлема располагаются по 2 микрофона.

Оцифрованный сигнал передаётся в блок цифровой обработки сигнала (БЦОС), представляющий из себя плату с микроконтроллером.

После анализа принятого аудиосигнала устройство будет сообщать о направлении приближающегося БПЛА путем сигнализации через наушники. С целью передачи информации об обнаружении БПЛА на другие устройства предусмотрен соответствующий разъём на БЦОС, который позволит передавать данные на передатчик.

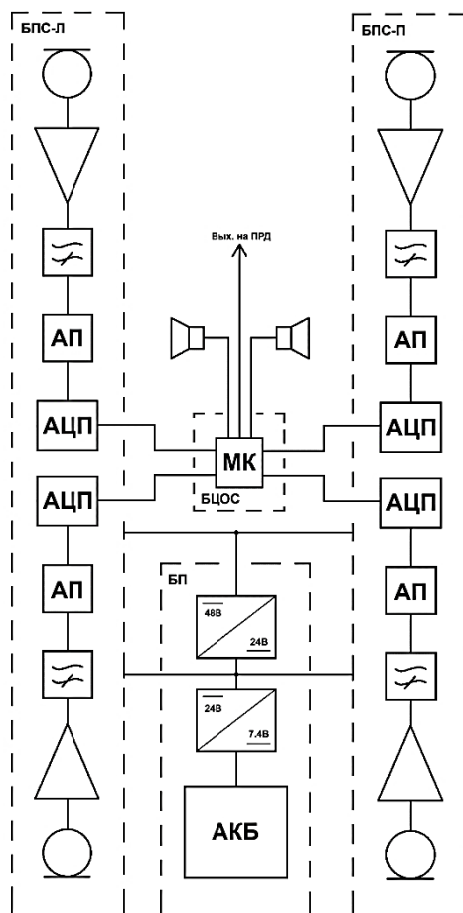


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого носимого анализатора акустических сигналов (БПС – блок приема сигналов (БПС-Л – левый, БПС-П – правый); БП – блок питания; БЦОС – блок цифровой обработки сигналов; АП – аудио преобразователь несимметричной линии в дифференциальную линию; АЦП – аналого-цифровой преобразователь)

В разрабатываемом решении в качестве микрофонов используются аналоговые конденсаторные капсули, сигнал с которых требует проведения предварительного усиления [1]. В свою очередь это приводит к тому, что для питания требуется высокое напряжение. Использование аккумулятора (АКБ) в качестве блока питания не позволяет обеспечить необходимый уровень напряжения, из-за чего требуется использование DC-DC преобразователей. Преобразователи обеспечивают повышение напряжения до 24 В и до 48 В. В АКБ и DC-DC преобразователи образуют блок питания устройства (БП), который размещается в районе туловища. На рис. 1 представлена структурная схема разрабатываемого устройства.

На рис. 2 показано схематическое расположение блоков устройства на шлеме.



Рис. 2. Схематическое расположение блоков устройства на тактическом шлеме

### Определение элементной базы устройства

Ключевым элементом всего изделия является конденсаторный капсуль [2]. Его использование в данной работе обусловлено некоторыми преимуществами перед микроэлектромеханическими микрофонами (MEMS-микрофонами), которые обычно используются в устройствах данного типа. Среди характеристик, положительно отличающих конденсаторные капсули, можно обозначить чувствительность, частотный диапазон; низкий уровень собственного шума.

Опираясь на данные характеристики выбран RK-87, конденсаторный капсуль диаметром 34 мм. Он удовлетворяет заданным требованиям и имеет следующие характеристики:

- 1) чувствительность: от -42 до -52 дБ;
- 2) напряжение поляризации: 48 В;
- 3) частотный диапазон: 50 Гц – 20 кГц;
- 4) отношение сигнал-шум: >66 дБ.

Особенностью конденсаторных капсулей является необходимость наличия напряжения поляризации мембраны или неподвижного массивного электрода. При воздействии звукового давления на капсулю мембрана прогибается, электрическая ёмкость капсуля изменяется. При наличии поляризующего напряжения, подаваемого на неподвижный электрод, изменение ёмкости приводит к появлению переменного напряжения на обкладках конденсатора.

Для усиления аудиосигнала, выдаваемого микрофоном, необходим усилитель звуковой частоты, который будет обладать минимальным уровнем внутренних шумов [3]. Кроме того, важно соблюсти согласование импедансов микрофона и входа усилителя. Для этого импеданс входного каскада должен быть очень высок. Выполнение данных условий обеспечивается при использовании полевого транзистора в усилителе.

В ходе анализа существующих на рынке малошумящих полевых транзисторов было выявлено, что наиболее подходящим является транзистор КП-303А. Это кремниевый эпитаксиально-планарный полевой транзистор с затвором на основе р-п перехода и каналом n-типа. Его выбор обусловлен низкой электродвижущей силой шума – не более  $30 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$  на частоте 20 Гц.

Для обеспечения своего полного функционала в разрабатываемой системе необходимо использовать АЦП, который качественно преобразовывает аналоговый сигнал в цифровой [4]. АЦП, удовлетворяющий заданному условию, должен обладать следующими характеристиками:

- 1) разрядность АЦП: необходимую точность передачи данных могут обеспечить 24-битные АЦП;
- 2) тип входа: дифференциальный. Такой тип входа обеспечивает подавление синфазных помех и наводок, а также в два раза увеличивает динамический диапазон;
- 3) отношение сигнал-шум: не менее 90 дБ;
- 4) коэффициент нелинейных искажений с учетом шума: менее -80 дБ;
- 5) частота дискретизации: 48 кГц. Более высокая частота дискретизации может негативно влиять на качество аудиосигнала;
- 6) интерфейс передачи данных:  $I^2S$ .

Анализ предлагаемых на рынке решений показал, что оптимально использование в качестве АЦП микросхемы PCM1804 от компании Texas Instruments. PCM1804 – это высокопроиз-

водительный однокристалльный стереофонический аналого-цифровой преобразователь с полным дифференциальным аналоговым входом. PCM1804 использует прецизионный дельта-сигма модулятор и включает в себя цифровой фильтр линейного фазового сглаживания и фильтр низких частот, который устраняет смещение входного сигнала по постоянному току. PCM1804 может воспроизводить звук как в формате PCM, так и в формате DSD благодаря высокоточному дельта-сигма модулятору.

Для дифференциального входа АЦП необходимо преобразовать однополярный аудиосигнал с выхода усилителя в дифференциальный сигнал. Это можно реализовать с помощью аудио преобразователя, схема которого приведена в технической документации на PCM1804. В основе этой схемы лежат операционные усилители OPA134. Такая схема позволяет достичь низкого уровня искажений и шума.

#### **Моделирование аналоговой части блока приема сигнала**

Аналоговая часть блока приема сигнала состоит из малошумящего усилителя звуковой частоты и аудио преобразователя из однополярного в дифференциальный сигнал.

Входной каскад должен иметь минимальные внутренние шумы и искажения, и при этом хорошо согласоваться с микрофоном, поэтому была выбрана схема включения полевого транзистора КП303А с общим истоком. Второй каскад построен по каскадной схеме. Каскадное (двух-, трех- или более «этажное» включение полевых и/или биполярных транзисторов) позволяет простыми средствами добиться высокого коэффициента передачи, ослабить проникновение входного сигнала на выход усилителя, упростить схему в целом, повысить устойчивость ее работы, повысить максимальное значение напряжения питания и амплитуду выходного сигнала, соответственно. «Двухэтажные» каскадные усилители требуют удвоения напряжения питания по сравнению с обычным включением транзисторов, при этом ток, потребляемый схемой, снижается вдвое. На рис. 3 показана модель усилителя звуковой частоты (УЗЧ), построенной в Micro-Cap 12.2.0.5.

Конденсаторный капсуль в модели реализован с помощью источника переменного напряжения V1 и конденсатора C1, емкость которого 70 пФ является средним значением собственной емкости конденсаторных капсу-

лей данного типа. Напряжение поляризации подается прямо по сигнальному проводнику и в модели реализовано путем подачи 48 В через резистор R1 прямо на положительный электрод капсуля. Чтобы исключить проникновение постоянного напряжения на вход усиленного каскада используется разделитель-

ный конденсатор C2, емкость которого подобрана для наилучшего пропускания частотного диапазона сигнала. Значение сопротивления резистора R1 крайне важно в данном случае. Оно напрямую влияет на чувствительность микрофона, и должно быть не менее 3 ГОм.

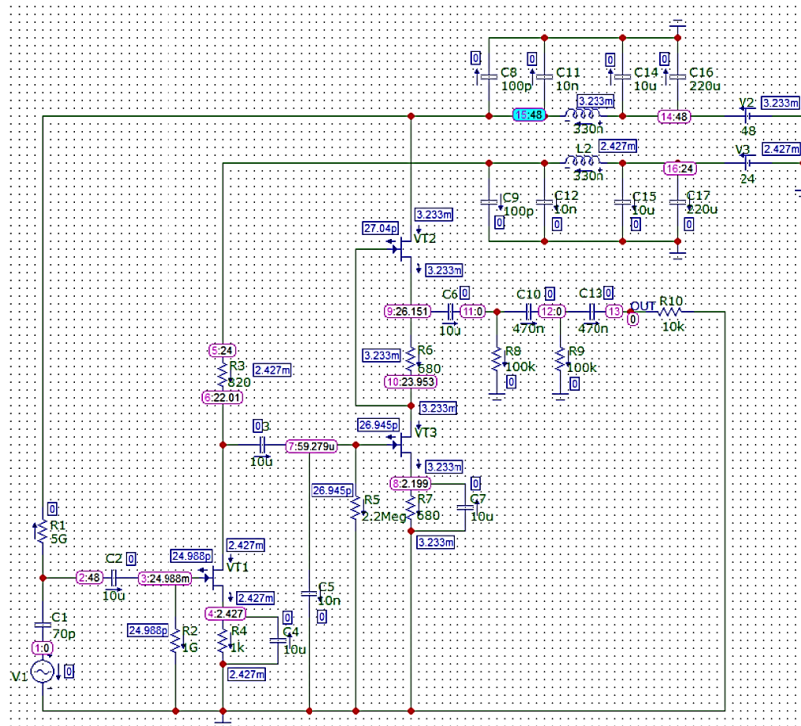


Рис. 3. Модель УЗЧ

Конденсаторы C3 и C6 также являются разделительными, и предотвращают попадание напряжения питания одного усилительного каскада в другой. Конденсаторы C8, C9, C11, C12, C14, C15, C16, C17 являются блокировочными и выполняют роль фильтрации цепей питания 24 В и 48 В. Конденсатор C5 также является фильтрующим и удаляет высокочастотные составляющие из аудиосигнала. Его наличие дает существенный прирост к отношению сигнал-шум. Коэффициент усиления регулируется путем изменения значений резисторов R3 и R4, а также конденсаторами C4 и C7.

Цепь R8, R9, C10 и C13 является фильтром верхних частот (ФВЧ), который улучшает показатель отношения сигнал-шум. В процессе моделирования было установлено, что использование фильтра нижних частот (ФНЧ) не оказывает никакого положительного влияния на отношение сигнал-шум и АЧХ.

Нагрузка на выходе усилителя также влияет на коэффициент усиления УЗЧ. На

данном этапе выбрано значение в 10 кОм, но при последующем подключении цепей аудио преобразователя оно изменится. На рис. 4-9 приведены результаты моделирования УЗЧ.

На рис. 4 видно, что в диапазоне от 200 Гц до 10 кГц коэффициент усиления составляет 50 дБ. Это основной частотный диапазон, на котором могут появиться полезные сигналы. Коэффициент усиления может регулироваться приведенными выше способами в пределах от 30 до 60 дБ.

Отношение сигнал-шум напрямую зависит от уровня входного сигнала. Так как задача изделия улавливать очень тихие звуки, его динамический диапазон составляет от 100 мкВ до 100 мВ. На рис. 5-7 будут приведены отношения сигнал-шум при уровне входного сигнала 100 мкВ, 10 мВ и 100 мВ. Также, для сравнения, будет приведено отношение сигнал-шум при среднем уровне входного сигнала в процессе записи аудио на студийном микрофоне – 500 мВ.



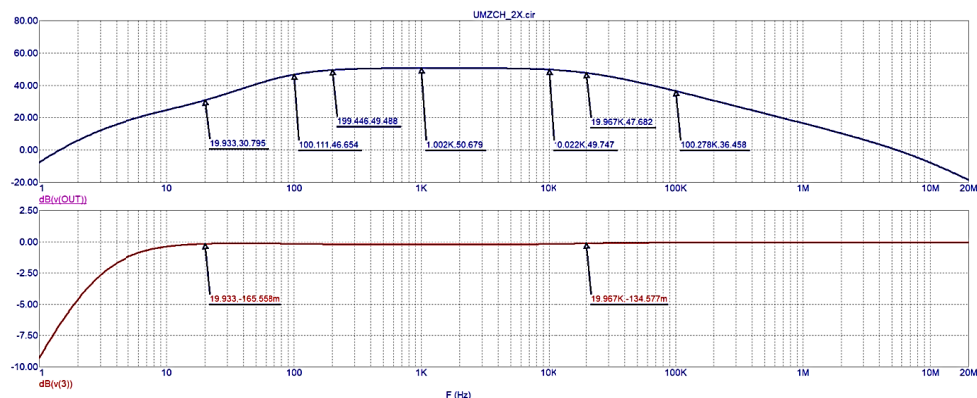


Рис. 4. АЧХ исследуемой модели УЗЧ

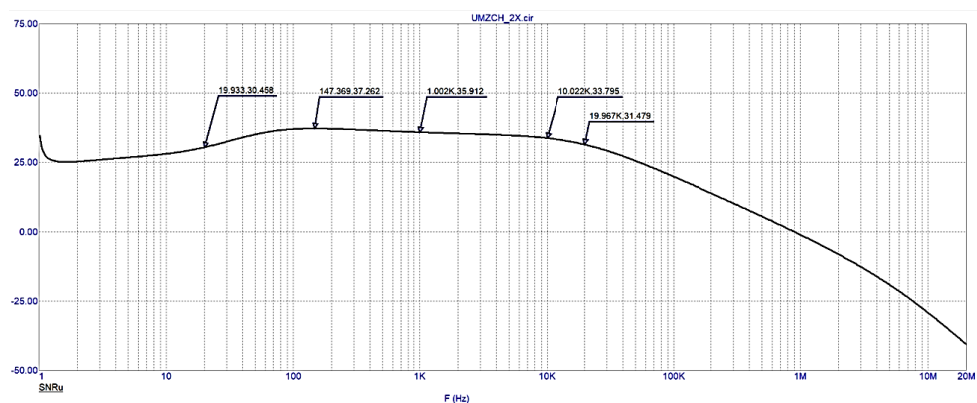


Рис. 5. Отношение сигнал-шум на выходе исследуемой модели УЗЧ при уровне входного сигнала 100 мВ

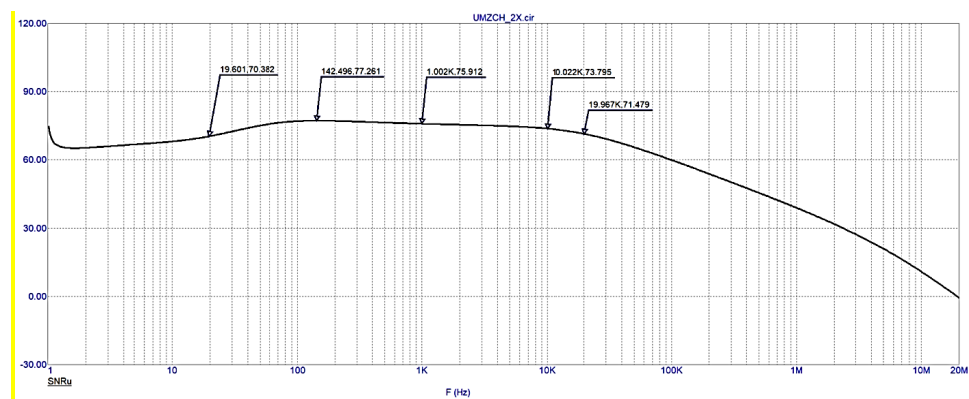


Рис. 6. Отношение сигнал-шум на выходе исследуемой модели УЗЧ при уровне входного сигнала 10 мВ

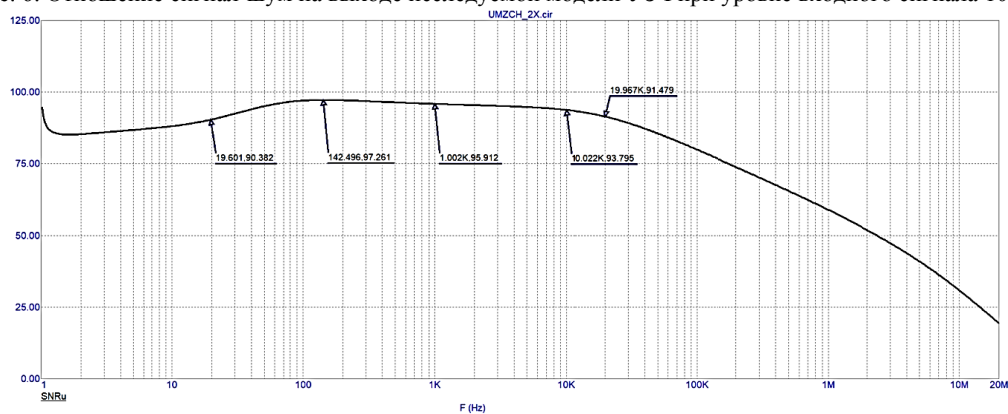


Рис. 7. Отношение сигнал-шум на выходе исследуемой модели УЗЧ при уровне входного сигнала 100 мВ

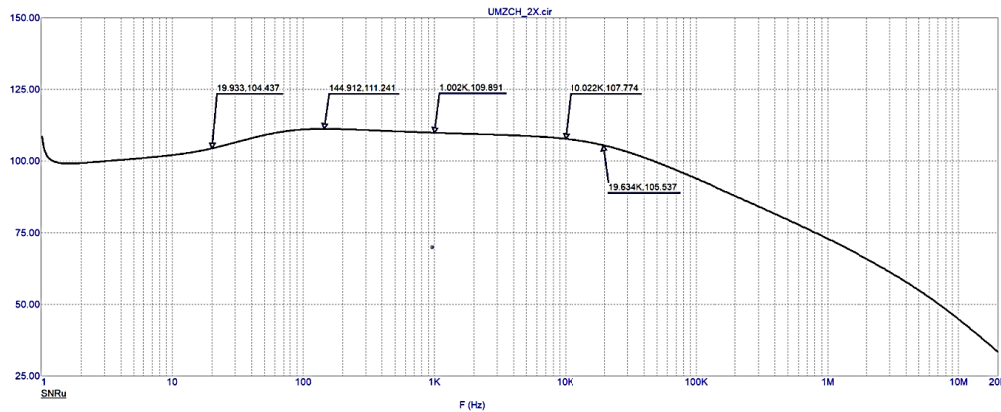


Рис. 8. Отношение сигнал-шум на выходе исследуемой модели УЗЧ при уровне входного сигнала 500 мВ

На рис. 9 представлены уровни побочных гармоник относительно несущей сигнала при

уровне входного сигнала 10 мВ и его частоте 1 кГц.

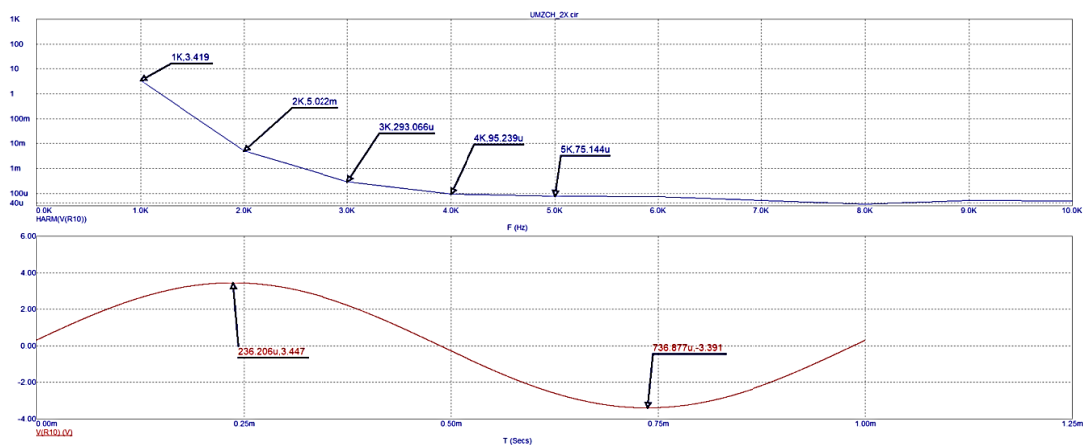


Рис. 9. Уровни несущей и побочных гармоник на выходе исследуемой модели УЗЧ при уровне входного сигнала 10 мВ и частоте 1 кГц

Коэффициент нелинейных искажений  $K_{\Gamma}$  рассчитывается по формуле

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Коэффициент нелинейных искажений, рассчитанный по формуле (1), составил 0,147 %. Исходя из результатов моделирования, можно сделать вывод, что разработанная модель усилителя удовлетворяет всем заданным требованиям.

После усиления принятого сигнала необходимо преобразовать его в дифференциальный для последующей подачи на вход АЦП. Схема аудио преобразователя взята из технической документации на АЦП РСМ1804 и доработана под соответствующее выходное сопротивление усилителя.

Модель УЗЧ с последующим преобразованием сигнала в дифференциальный представлена на рис. 10.

Для согласования выхода усилителя и входа АП были увеличены номиналы резисторов R10-R15. Коэффициент усиления АП регулируется отношением R13 к R14 (R12 к R15). V6 выступает в роли выхода АЦП  $V_{\text{COM}}$  - напряжение общего режима, которое, согласно технической документации, составляет 2,5 В. Резисторы R18 и R19 (10 кОм) являются входным сопротивлением аналоговых входов АЦП. Результаты моделирования АП представлены на рис. 11-14.

На рис. 11 показаны АЧХ УЗЧ с АП в качестве нагрузки, а также АЧХ на положительном и отрицательном выходах АП. Как видно, резисторы R10-R15 подобраны так, что АЧХ самого усилителя не изменилась. АП имеет АЧХ такой же формы, как и УЗЧ, однако срез, начиная с 20 кГц, более крутой, что является положительным качеством.

Как видно из рис. 12, аудио преобразователь не внес никаких дополнительных шумов в усиленный сигнал.

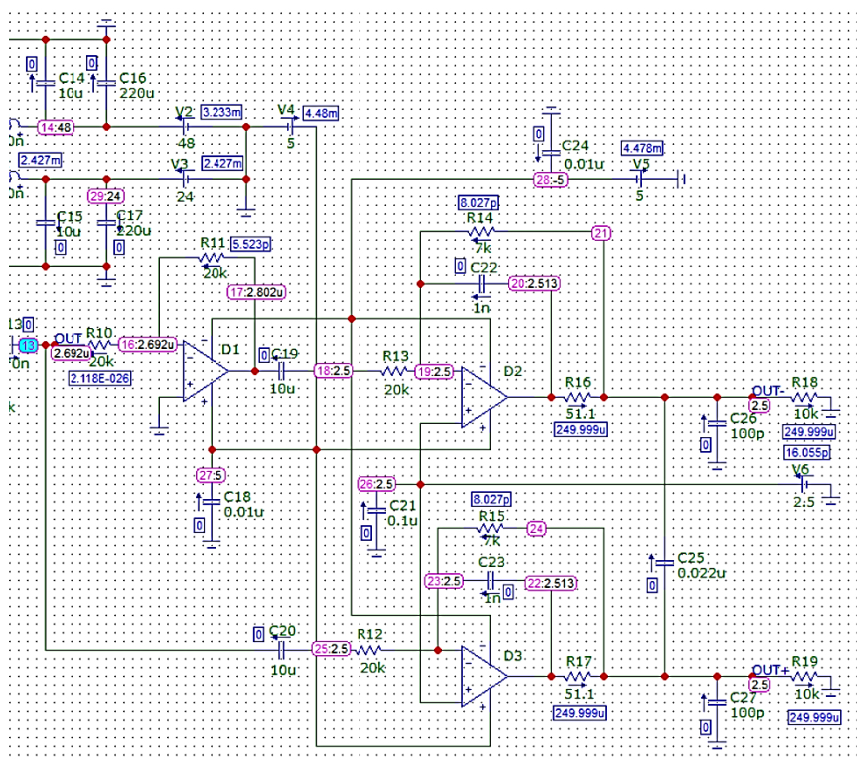


Рис. 10. Модель аудио преобразователя (АП)

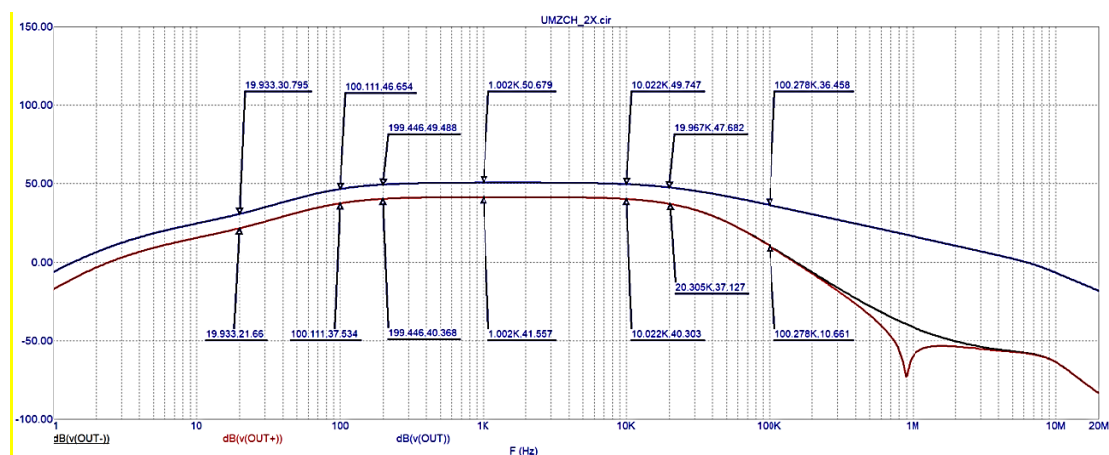


Рис. 11. АЧХ исследуемой модели УЗЧ и АП

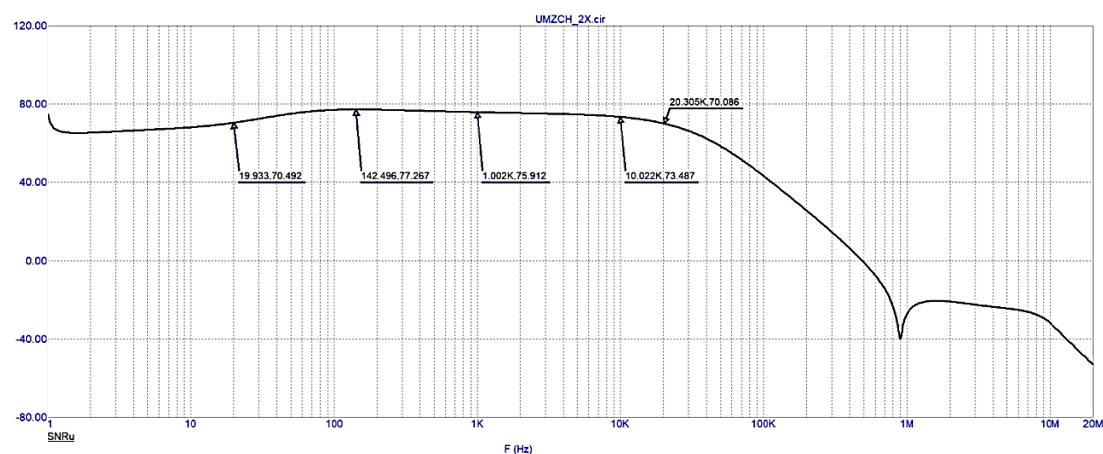


Рис. 12. Отношение сигнал-шум на выходе исследуемой модели УЗЧ и АП при уровне входного сигнала 10 мВ

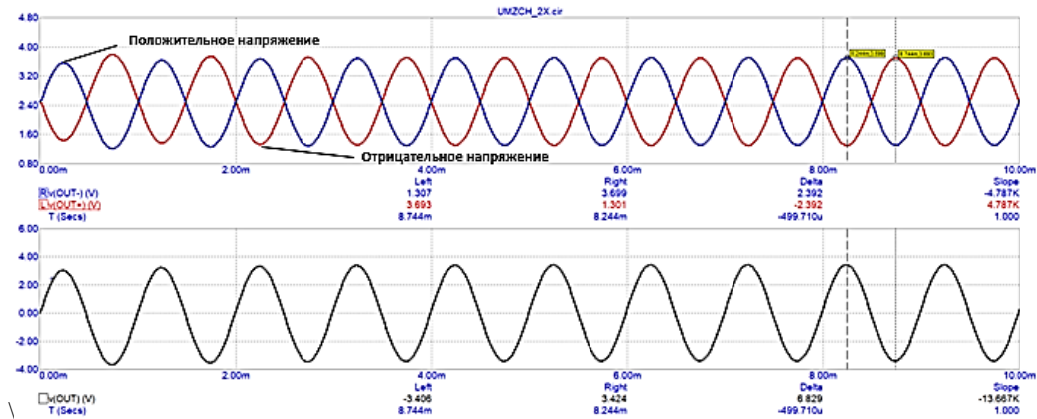


Рис. 13. Осциллограмма сигнала на выходе усилителя (нижний график) и на выходах АЦП (верхние графики) при уровне входного сигнала 10 мВ

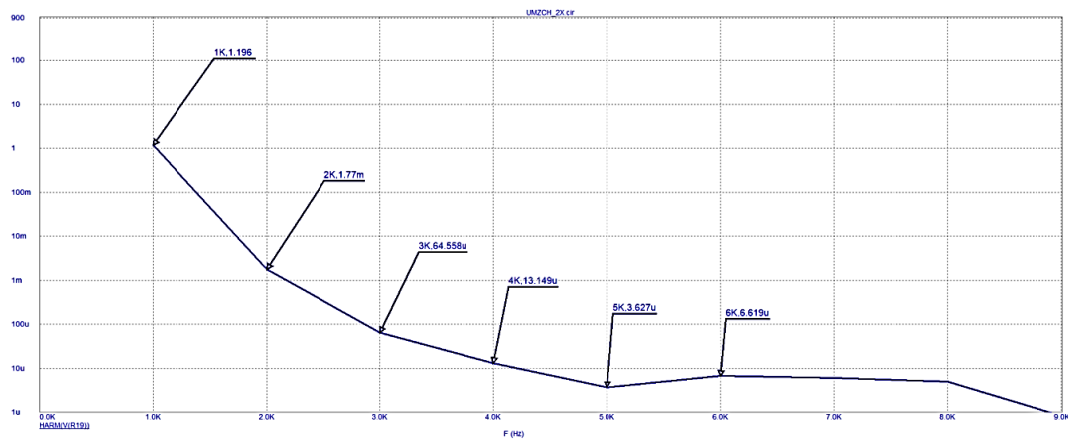


Рис. 14. Уровни несущей и побочных гармоник на выходе исследуемой модели УЗЧ и АЦП при уровне входного сигнала 10 мВ и частоте 1 кГц

Исходя из данных рис. 14, на выходе всей аналоговой части блока приема сигнала коэффициент нелинейных искажений  $K_I$  равен 0,148 %.

Потребляемый моделью ток – 14,640 мА. Усилитель потребляет 5,680 мА при уровне входного сигнала 10 мВ.

#### Разработка электрической принципиальной схемы блока приема сигналов

По результатам моделирования была разработана электрическая принципиальная схема блока приема сигналов, включающая в себя два маломощных усилителя звуковой частоты, два аудио преобразования из однополярного в дифференциальный сигнал, два АЦП, а также цепей аналогового питания 5 В и -5 В и цифрового питания 3,3 В.

Аудио преобразователи, разработанные на этапе моделирования, на схеме реализованы на основе микросхем ОРА4134UA, содержа-

щих в своем корпусе четыре операционных усилителя.

В качестве АЦП используется микросхема РСМ1804ДВР. Путем выставления на выходах 6-11 логических единиц и нулей согласно данным из технической документации на АЦП были выставлены необходимые режимы работы микросхемы, а именно:

- 1) формат цифрового аудио – РСМ;
- 2) протокол передачи цифрового сигнала –  $I^2S$ ;
- 3) режим работы – ведомый;
- 4) частота дискретизации ( $f_s$ ) – 48 кГц;
- 5) тактовая частота –  $256 \cdot f_s$ ;
- 6) фильтр верхних частот – включен.

Цепи питания реализованы на основе стабилизаторов напряжения серии АМС1117 (АМС1117-5.0 для цепи +5 В, АМС1117-3.3 для цепи +3,3 В). Для отрицательного питания -5 В был выбран инвертор постоянного напряжения LM2776ДВВР. Сначала напряжение +24 В, заведенное с блока питания, делится с



помощью резистивного делителя напряжения, выполненного на резисторах R9 и R10. Благодаря низкому току потребления всей схемы такое простое понижение напряжения возможно реализовать. Резисторы заложены типоразмера 1206 и делят напряжение до 12 В. Затем стабилизатор AMS1117-5.0 преобразовывает +12 В в +5 В, из которого в дальнейшем реализуются -5 В и цифровые 3,3 В. Вывод цифровых данных из блока приема сигналов осуществляется через восьмивыводной разъем X1.

Для того, чтобы данная система могла использоваться в полевых условиях, на схеме используется большое количество блокировочных конденсаторов, выполняющих роль фильтров цепей питания [5]. Таковыми являются электролитические конденсаторы C1-C4 емкостью 220 мкФ; керамические конденсаторы C5-C8, C29, C38, C45, C56 емкостью 10 мкФ; C9, C10, C15, C16, C21, C22 емкостью 10 нФ; C30, C42, C48, C63, C71, C73-C75, C78-C84, C86 емкостью 0,1 мкФ; C11, C12, C17, C18, C27, C28, C31, C39, C51, C57, C66-C69, C76, C77, C85, C87 емкостью 100 пФ.

### Разработка топологии платы блока приема сигналов

Так как устройство является носимым, то его габариты должны быть компактными, что подразумевает собой плотный монтаж с ис-

пользованием минимальных типоразмеров SMD-компонентов. Также монтаж должен быть максимально плотным в аналоговой усилительной части в целях предотвращения возникновения внешних наводок и возбуждения внутренних шумов. При проектировании печатной платы учитывалось требование перекрытия линий питания и сигнальных линий на верхнем и нижнем слоях, так как необходимо оставлять на противоположном слое земляной полигон для прохождения обратных токов. Для предотвращения появления фазовых сдвигов сигналов, учитывалась симметрия расположения микрофонов. Топология платы приведена на рис. 15-17.

Особое внимание было уделено дифференциальным линиям на аналоговых входах АЦП. Их длина обязательно должна быть одинаковой, а расстояние между ними не должно меняться на всей их длине [6].

Также в связи с наличием цифрового питания АЦП возникла необходимость разделения земляного полигона на аналоговый и цифровой. Это связано с генерируемыми АЦП импульсными высокочастотными помехами. Если обратные токи цифрового сигнала будут протекать по аналоговому полигону земли, то через него высокочастотные помехи будут попадать в аналоговую часть устройства, чего допускать ни в коем случае нельзя.

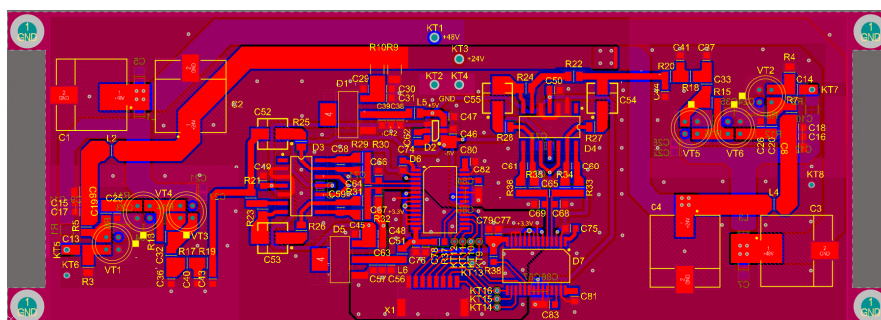


Рис. 15. Верхний слой разрабатываемой топологии платы

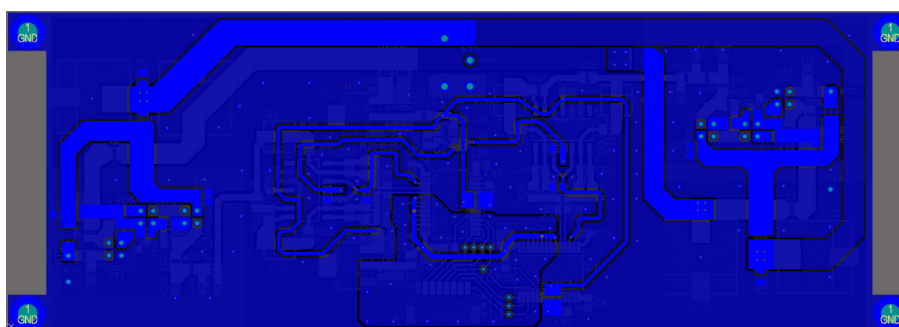


Рис. 16. Нижний слой разрабатываемой топологии платы

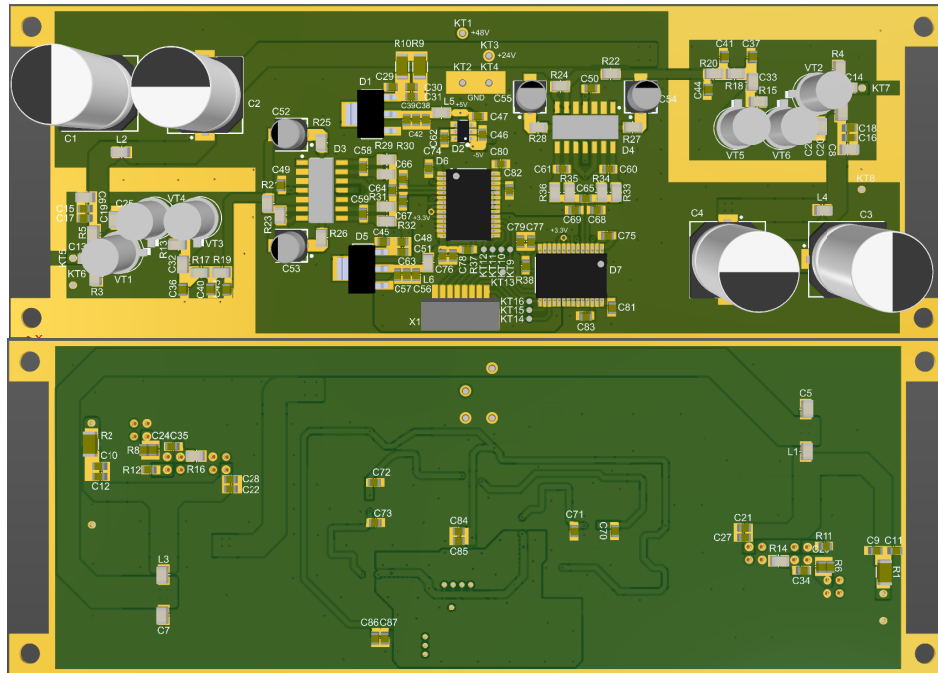


Рис. 17. 3D-вид разрабатываемой печатной платы сверху и снизу

Обязательным является наличие экранирования над усилителями. Экраны будут выполнены из медной фольги толщиной 0,1 мм и будут припаиваться на земляной полигон вокруг УЗЧ на заранее подготовленные площадки со счищенной паяльной маской.

Катушки индуктивности L2 и L4 были вынесены за экран с целью минимизации влияния на усилитель магнитных наводок.

В местах разрыва земляного полигона были заложены переходные отверстия, которые служат для соединения нижнего и верхнего слоя земли и обеспечивают непрерывное протекание обратных токов на плате.

Также паяльная маска снята в области вокруг КТ2 и КТ4. Это сделано для комфортной припайки экранирующей оплетки проводов питания на земляной полигон.

И с нижней, и с верхней стороны печатной платы будет установлен экран [7]. Для его крепления предусмотрены четыре отверстия на выступающих частях платы. Выступающие части платы позволяют сделать наиболее простую форму экранов без необходимости дополнительной формовки. Так же это позволяет избежать увеличения габаритных размеров печатной платы. Расстояние между двумя выступающими частями платы позволяют поместить туда микрофон, тем самым минимизируя расстояние от мембраны до входа усилителя, что является основным аспектом для защиты входного сигнала от внешних наводок. Для наилучшего заземления экранов предусмотре-

на возможность их припайки по периметру печатной платы.

Итоговые габаритные размеры печатной платы блока приема сигналов составляют 128,3×45,5 мм. Размеры без выступающих частей для крепления экрана составляют 117,5×45,5 мм.

## Заключение

В ходе данной работы был полностью разработан блок приема сигналов носимого анализатора акустических сигналов. Так же была составлена логика работы всего изделия, функциональное взаимодействие блоков и продумана работа системы питания устройства.

Разработанная и проанализированная в процессе работы модель аналоговой части блока приема сигналов полностью удовлетворяет заданным требованиям, а реализованная схема блока отвечает всем правилам конструирования печатных плат и электромагнитной совместимости.

## Литература

1. Бенин М.С. Звукотехника / М.С. Бенин, А.С. Подунов. М.: Досааф СССР, 1976. 159 с.
2. Эфруси М.М. Микрофоны и их применение. М.: Энергия, 1974. 90 с.
3. Атаев Д.И. Практические схемы высококачественного звуковоспроизведения / Д.И. Атаев, В.А. Болотников. М.: Радио и связь, 1986. 135 с.
4. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике. М.: Мир, 1991. 432 с.

5. Вахитов Ш.Я. Современные микрофоны. Теория, Проектирование. СПб., 2003. 394 с.

6. Лопаткин А.В. Проектирование печатных плат в Altium Designer. ДМК Пресс, 2016. 400 с.

7. Воробьев Е.А. Экранирование СВЧ конструкций. М.: Советское радио, 1979. 134.

Поступила 15.09.2025; принята к публикации 11.11.2025

#### Информация об авторах

**Сукачев Александр Игоревич** – старший преподаватель кафедры радиоэлектронных устройств и систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: mag.dip@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-5579>

**Глаголев Николай Алексеевич** – студент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: mag.dip@yandex.ru

**Рябых Максим Сергеевич** – техник, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: mag.dip@yandex.ru

**Сукачева Елена Александровна** – ассистент кафедры радиоэлектронных устройств и систем, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: mag.dip@yandex.ru

## FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF A MOBILE PASSIVE ACOUSTIC DETECTOR

**A.I. Sukachev, N.A. Glagolev, M.S. Ryabykh, E.A. Sukacheva**

**Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia**

**Abstract:** we show block diagram of the developed mobile acoustic signal detector. Due to the consideration of circular signal reception, we selected the number of microphones used in the solution, as well as their attachment points on the helmet base. We determined the optimal microphone model based on the criteria of sensitivity, frequency range; low level of intrinsic noise. We defined the model of the amplifying element, which ensures the matching of the microphone and the input of the amplifying cascade. We defined a model of an ADC that provides high-quality conversion of an analog signal into a digital one. We developed a circuit design solution for the device under development. We carried out the simulation of an analog signal reception unit at input signal levels of 100 mV, 10 mV, 100 mV, 500 mV. We obtained the frequency response of the amplifier and audio converter. According to the carrier and side harmonics levels at the output of the UHF model at an input signal level of 10 mV and a frequency of 1 kHz, we obtained a nonlinear distortion coefficient of 0.147%, which meets all the requirements for the system. We developed a model of an audio converter and carried out a simulation of the developed model. We developed the topology of the printed circuit board, taking into account the fact that the system under development is mobile, the printed circuit board should have a low level of external interference. When designing the printed circuit board, we took into account the requirement of overlapping power lines and signal lines on the upper and lower layers. To prevent the appearance of phase shifts in the signals, we took into account the symmetry of the microphone arrangement

**Key words:** digital signal processing, UAV, amplifier, audio converter, circuit design, circuit board topology

**Acknowledgements:** the work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project no. FZGM-2025-0002)

#### References

1. Benin M.S., Podunov A.S. "Sound engineering" ("Zvukotekhnika"), Moscow: Dosaaf USSR, 1976, 159 p.
2. Ephrussi M.M. "Microphones and their application" ("Mikrofony i ikh primeneniye"), Moscow: Energy, 1974, 90 p.
3. Ataev D.I., Bolotnikov V.A. "Practical schemes for high-quality sound reproduction" ("Prakticheskie skhemy vysokokachestvennogo zvukovosproizvedeniya"), Moscow: Radio i svyaz', 1986, 135 p.
4. Shkritek P. "Reference manual for sound circuitry" ("Spravochnoe rukovodstvo po zvukovoy skhemotekhnike"), Moscow: Mir, 1991, 432 p.
5. Vakhitov Sh.Ya. "Modern microphones. Theory, Design" ("Sovremennyye mikrofony. Teoriya, Proektirovaniye"), St. Petersburg, 2003, 394 p.
6. Lopatkin A.V. "Printed circuit board design in Altium Designer" ("Proektirovaniye pechatnykh plat v Altium Designer"), ДМК Пресс, 2016, 400 p.
7. Vorob'ev E.A. "Shielding of microwave structures" ("Ekranirovaniye SVCh konstruktsey"), Moscow: Sovetskoye Radio, 1979, 134.

Submitted 15.09.2025; revised 11.11.2025

#### Information about the authors

**Aleksandr I. Sukachev**, Assistant Professor, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: mag.dip@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-5579>

**Nikolay A. Glagolev**, student, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya St., Voronezh 394006, Russia), e-mail: mag.dip@yandex.ru

**Maksim S. Ryabykh**, Assistant, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya St. Voronezh, 394006, Russia), e-mail: mag.dip@yandex.ru

**Elena A. Sukacheva**, Assistant, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: mag.dip@yandex.ru