

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОЩНОГО HI-FI УСИЛИТЕЛЯ ЗВУКА НА ОСНОВЕ МИКРОСХЕМЫ STK4231 В ГЕРМЕТИЧНОМ КОРПУСЕ

Коротков А.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. В статье представлен общетехнический анализ проектируемого усилителя мощности звуковой частоты. Выполнен анализ существующих технических решений, обоснован выбор оптимальной схмотехнической реализации. Особое внимание уделено вопросам обеспечения теплового режима работы усилителя, включая моделирование тепловых процессов и выбор эффективных систем охлаждения с учетом требований герметичного корпуса.

Ключевые слова: усилитель звука, Hi-Fi, проектирование

Введение. Усилители звука являются ключевыми компонентами современных аудиосистем, предназначенными для увеличения амплитуды звукового сигнала и обеспечения его воспроизведения через акустические системы. *Hi-Fi* усилители звука, в частности, отличаются высокой точностью воспроизведения и минимальными искажениями, что делает их востребованными в различных областях, включая музыкальную индустрию, кино, телевидение и домашние аудиосистемы. Современные усилители могут иметь различные конструкции и технологии, включая ламповые и транзисторные модели, а также цифровые усилители, которые обеспечивают высокое качество звука и энергоэффективность. Важно отметить, что выбор усилителя зависит от конкретных задач и условий использования, таких как тип акустической системы, размер помещения и желаемый уровень громкости.

Общетехнический анализ проектируемого устройства. Усилитель звука – это устройство, предназначенное для увеличения амплитуды аудиосигнала, поступающего от источника (например, проигрывателя или компьютера), чтобы обеспечить его воспроизведение через акустическую систему. Мощные усилители способны выдавать до 1000 Вт, что позволяет им эффективно управлять большими динамиками и обеспечивать громкий и качественный звук.

Помимо основной функции, усилители выполняют замену аналогового сигнала в импульсный для будущей обработки цифровым блоком.

Устройство помогает настроить данные производимых устройств, уменьшить потребление электроэнергии, при этом лишь улучшая работоспособность. Заряжается усилитель благодаря блокам питания, которые бывают встроенные и выносные, а также делятся на классы *A, B, AB, C* [1].

В статье рассматривается транзисторный усилитель (рисунок 1), в котором основными преимуществам использования являются [2]:

- мгновенная готовность к работе (устройство начинает работать сразу же после запуска и не требует прогрева);

- прочность (транзисторный усилитель в зависимости от лампового обладает высоким показателем механической прочности, что делает его более надежным и практичным для использования);

- доступная стоимость транзистора (благодаря этому не только снижается стоимость прибора, но и цена ремонтных работ при выходе из строя транзисторов);

- длительный срок службы (ламповые усилители мощности служат долго, но их срок службы все равно ограничен, это связано с потерей эмиссии у ламп. Транзисторы перегорают

редко и даже в этом случае для восстановления работоспособности устройства достаточно заменить недорогие транзисторы новыми и усилитель снова готов к работе);

- компактные размеры (это связано с небольшим весом и размерам транзисторов, благодаря малому весу и габаритам устройство проще транспортировать и легче найти для него место среди звуковой аппаратуры);

- отсутствие необходимости использовать выходной трансформатор (это позволяет добиться характеристик, которые невозможных у ламповых усилителей).



Рисунок 1 – Внешний вид устройства

Устройство эксплуатируется в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях, поэтому целесообразно выбрать устойчивость к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150-69 УХЛ 4.2.

Для моделирования тепловой картины поля будет использоваться программа *ELCUT* – это компьютерная программа для проведения инженерного анализа и двумерного моделирования методом конечных элементов [7–12].

Описание принципа работы анализируемого устройства. Транзисторный усилитель мощности звука – это устройство, которое усиливает электрические аудиосигналы, чтобы обеспечить мощность, необходимую для воспроизведения звука. Принцип работы такого усилителя основан на использовании транзисторов как активных элементов, которые изменяют свои характеристики под воздействием входного сигнала, а именно (рисунок 2) [3]:

- сигнал поступает на вход предварительного усилителя, который обрабатывает и усиливает его до нужного уровня. Этот этап важен для подготовки сигнала к дальнейшему усилению, так как он обеспечивает необходимую величину входного сопротивления и минимизирует нагрузку на источник сигнала. Предварительный усилитель также помогает снизить уровень шумов, что критично для достижения чистоты звука;

- усилитель состоит из нескольких каскадов, каждый из которых последовательно усиливает сигнал. Выход одного каскада подключается к входу следующего, что позволяет многократно увеличить мощность сигнала. Каждый каскад может быть настроен на определенное значение усиления, что дает возможность контролировать выходной сигнал и снижать искажения;

- транзисторы в усилителе изменяют свое сопротивление в ответ на входной сигнал. Это свойство позволяет им управлять потоком тока от источника питания к нагрузке, обеспечивая тем самым необходимую мощность на выходе. Транзисторы работают в линейном режиме, что минимизирует искажения и позволяет достичь высокого качества звука;

- после прохождения через все каскады, на выходе получается мощный сигнал, который передается на акустические системы для воспроизведения звука. Этот сигнал должен быть как можно менее искаженным, чтобы обеспечить качественное звучание.

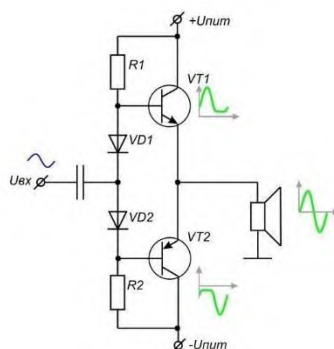


Рисунок 2 – Схема преобразования сигналов в усилителе мощности звука

В нашем случае транзисторный усилитель мощности звука имеет выходную мощность 100 Вт и диапазон воспроизводимых частот 0,02–20 кГц. Из этого следует, что данное устройство больше подходит для не очень больших помещений [4].

Анализ элементарной базы устройства. Схема электрическая принципиальная транзисторного моноусилителя звука на микросхеме *STK4231* (рисунок 3) включает в себя следующие основные компоненты:

- микросхема *STK4231*: является основным элементом усилителя и отвечает за усиление звукового сигнала;
- резисторы: используются для установки необходимых режимов работы транзисторов и формирования частотной характеристики усилителя;
- конденсаторы: применяются для разделения каскадов усилителя по постоянному току и формирования частотной характеристики;
- транзисторы: используются в качестве активных элементов для усиления звукового сигнала;
- диоды: применяются для защиты усилителя от перенапряжений и обратной полярности.

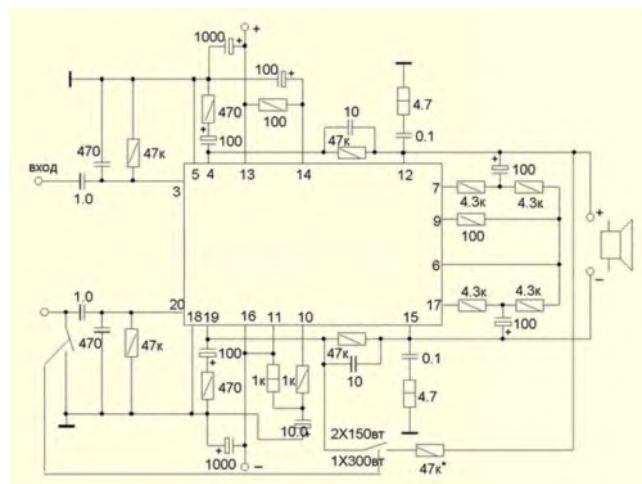


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная усилителя мощности звука на микросхеме STK4231

Для наглядного представления температур при различных тепловых режимах работы были составлены аналоги тепловых моделей с помощью программного комплекса *ELCUT* [11]. Для получения конечного результата в виде наглядной картины теплового поля в типе задач «телопередача стационарная» можно настроить условия для отдельных участков модели. При всем этом, так же можно обозначить не только место нагревания на плате и теплопроводность элементов, но и настроить граничные условия для каждого из них.

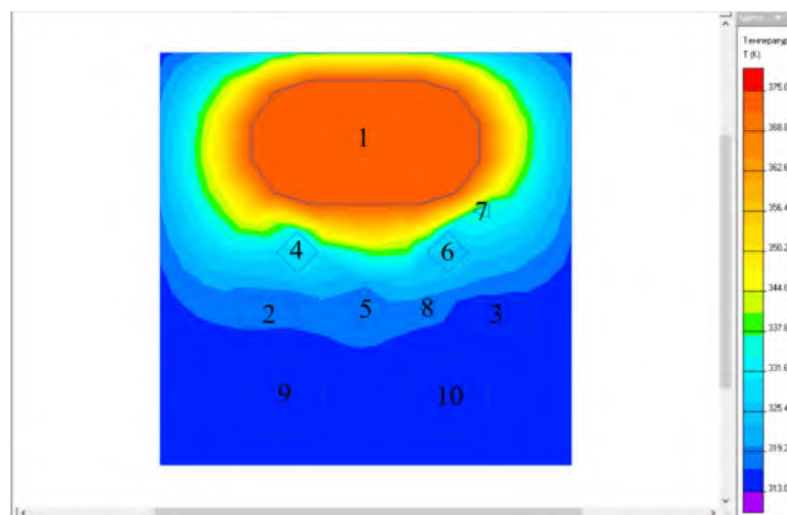


Рисунок 4 – Тепловая картина поля в герметичном корпусе
1 – микросхема STK4231; 2, 3 – резисторы; 4 – 10 – конденсаторы

Герметичный корпус для РЭС представляет собой защитную оболочку, обеспечивающую изоляцию внутренних компонентов от внешних факторов, таких как влага, пыль и механические повреждения. Эти корпуса изготавливаются из прочных материалов, устойчивых к коррозии, и проектируются с учетом климатических условий, что позволяет им функционировать в широком температурном диапазоне [5].

Тепловая картина, представленная на рисунке 4, показывает, что максимальная температура внутри герметичного корпуса достигает 375 К (или 102 °С), что ниже рабочей температуры транзистора, равной 423 К (или 150 °С). В то же время температура окружающей среды вокруг элемента, вызванная нагревом чипа, достигает 362,6 К (соответствует 89,6 °С). Температура в нагретой зоне составляет 325,4 К (эквивалентно 52,4 °С). Этот тип охлаждения является наименее эффективным: хотя температура микросхемы STK4231 не достигает предельной рабочей температуры, температура нагретой зоны близка к рабочей температуре некоторых компонентов. Это может привести к сокращению их срока службы при длительной эксплуатации в таких условиях.

Заключение. В заключение следует подчеркнуть, что общетехнический анализ является неотъемлемой частью процесса проектирования любого современного устройства. Он позволяет не только определить оптимальные технические решения, но и научно обосновать их, обеспечивая высокую надежность, экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемого продукта. Комплексный анализ исходных данных, существующих аналогов, выбор принципа действия и структуры устройства, разработка принципиальной схемы, расчет основных параметров, конструирование устройства и оценка экономической эффективности представляют собой взаимосвязанные этапы проектирования, обеспечивающие успешную реализацию проекта. Представленный в данной статье общетехнический анализ разрабатываемого устройства позволил определить основные направления дальнейших исследований и разработок, а также оценить потенциальные преимущества предлагаемого решения с учетом существующих технологических ограничений и экономических факторов.

Список литературы

1. Зачем нужен усилитель звука. [Online resource] – 2025. – Access mode: <https://droidone.ru/zachem-nuzhen-usilitel-zvuka>
2. STK4231III Datasheet (PDF) - Sanyo Semicon Device [Online resource] – 2025. – Access mode: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/41608/SANYO/STK4231III.html>
3. Rotkop L.L., Spokoyny Yu.E. Ensuring thermal regimes in the design of radio electronic equipment: study guide. Moscow : Glavpochtamt, 1976. – 231 p.
4. Усилитель мощности звука [Online resource] – 2025. – Access mode: https://radioskot.ru/publ/unch/usilitel_moshhnosti_zvuka/6-1-0-203
5. Power Amplifier [Online resource] – 2024. – Access mode: <https://trueconf.ru/blog/wiki/usilitel-moshhnosti-zvuka>

6. Оптимизация теплового режима приемо-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Пискун Г. А., Алексеев В. Ф., Романовский П. С., Стануль А. А. // Znanstvena misel journal. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.
7. Алексеев, В. Ф. Методика численного моделирования тепловых процессов в микроэлектронных структурах / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–21 мая 2020 г. : в 3 ч. Ч. 3 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Бозуш [и др.]. – Минск, 2020. – С. 34–37.
8. Алексеев, В. Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ: Учеб. пособие / В. Ф. Алексеев. – Мн.: БГУИР, 2003. – 197 с.
9. Алексеев, В. Ф. Программная реализация процесса оценки теплового режима средства медицинской электроники / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // Медэлектроника – 2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XI Международная научно-техническая конференция, Минск, 5–6 декабря 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2018. – С. 255–258.
10. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.
11. Алексеев, В. Ф. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум : пособие в 2 ч. Ч. 1 : Моделирование физических процессов в радиоэлектронных средствах с помощью программных комплексов / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2016. – 70 с.
12. Физические основы проектирования радиоэлектронных средств. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 2 : Исследование физических процессов в конструкциях РЭС : пособие / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, И. Н. Богатко. – Минск : БГУИР, 2017. – 74 с.

UDC 621.396.6

THE PHYSICAL BASICS OF DESIGNING A POWERFUL HI-FI SOUND AMPLIFIER BASED ON THE STK4231 MICROCIRCUIT IN A SEALED CASE

Korotkov A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alexseev V.F. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. This paper presents a general technical analysis of the projected audio frequency power amplifier. The analysis of existing technical solutions is carried out, the choice of optimal circuit design is justified. Special attention is paid to the issues of ensuring the thermal operation of the amplifier, including the modeling of thermal processes and the selection of efficient cooling systems, taking into account the requirements of a sealed enclosure.

Keywords: sound amplifier, Hi-Fi, design