

Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиотехники

**РАЗРАБОТКА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ
С ЗАДАНОЙ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ АМПЛИТУДНО-
ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсовой работы по дисциплине
«Схемотехника аналоговых и электропреобразовательных
устройств» для студентов направления подготовки
11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические
средства передачи, приема и обработки сигналов»)
заочной формы обучения

Воронеж 2021

УДК 64.38
ББК 32.844

Составитель

канд. ф.-м. наук В.В. Горбатенко,

Разработка усилителя мощности с заданной логарифмической амплитудно-частотной характеристикой:

методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых и электропреобразовательных устройств» для студентов направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов») заочной формы обучения/ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: В.В. Горбатенко. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 35 с.

Методические указания содержат теоретические сведения по дисциплине «Схемотехника аналоговых и электропреобразовательных устройств», контрольные задания, рекомендации по изучению дисциплины и примеры расчета основных фрагментов курсовой работы. Даны краткие сведения о структуре курсовой работы, ее содержании и правилах оформления.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов») заочной формы обучения, подготовлены в электронном виде и содержатся в файле **САУ 21.pdf**.

Ил. 18. Табл. 1. Библиогр.: 20 назв.

УДК 64.38
ББК 32.844

Рецензент: Л.Н. Коротков, д.ф.-м.н., профессор кафедры физики твердого тела ВГТУ

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины “Схемотехника аналоговых и электропреобразовательных устройств” является освоение студентами основ схемотехники аналоговых электронных устройств (АЭУ) и электропреобразовательных устройств (ЭПУ), формирование знаний по основам проектирования этих устройств, знаний о назначении, содержании и возможностях использования различных видов АЭУ и ЭПУ и перспективных направлениях создания устройств этого класса. “Схемотехника аналоговых и электропреобразовательных устройств” – дисциплина, изучающая схемотехнические особенности этих устройств, а также методы, используемые для их расчета и анализа.

В соответствии с государственными требованиями, предъявляемыми к уровню подготовки бакалавров по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника (Профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов»), в результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- основы схемотехники и элементную базу аналоговых электронных устройств и электропреобразовательных устройств;
- принципы работы элементов современных АЭУ и ЭПУ и физические процессы, протекающие в них;
- методы поиска, хранения и представления в требуемом формате информации из различных электронных источников и баз данных, включая библиотеки современных пакетов прикладных программ, о параметрах и характеристиках радиоэлектронных изделий.

Студенты должны уметь:

- использовать методы расчета типовых аналоговых и электропреобразовательных функциональных узлов;
- осуществлять анализ физических и химических процессов, происходящих во время функционирования АЭУ и ЭПУ в номинальном и критическом режимах;
- обрабатывать и анализировать информацию, полученную из различных электронных источников и баз данных, включая библиотеки современных пакетов прикладных программ, о параметрах и характеристиках радиоэлектронных изделий, для выбора и обоснования элементной базы и схемотехнических решений с целью создания аналоговых и электропреобразовательных устройств, соответствующих современному уровню науки и техники.

Студенты должны владеть:

- опытом выбора схем АЭУ и ЭПУ.
- практическими навыками регистрации и математическими методами обработки основных параметров и характеристик АЭУ и ЭПУ.

- практическими навыками поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных электронных источников и баз данных, включая библиотеки современных пакетов прикладных программ, о параметрах и характеристиках радиоэлектронных изделий, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности.

Для успешного усвоения материала дисциплины необходимо знание основных вопросов, излагаемых в курсах "Математика", "Физика", «Химия», «Физические основы микро- и наноэлектроники», «Основы теории цепей», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Радиоматериалы и радиокомпоненты», "Электроника", «Метрология и радиоизмерения». Содержание дисциплины обеспечивает базу для освоения специальных дисциплин и дисциплин специализации: «Компьютерное моделирование радиоэлектронных устройств», «Радиопередающие устройства», «Радиоприемные устройства», «Радиотехнические системы».

Структурно методические указания состоят из следующих разделов:

раздел «Введение» включает в себя информацию о цели изучения учебной дисциплины и ее основных характеристиках;

раздел «Структура курсовой работы» посвящен изучению структуры и правил оформления курсовой работы;

раздел «Пример варианта задания курсовой работы» содержит иллюстративный материал для ознакомления с вариантами заданий курсовой работы;

в разделах 3 и 4 даны методические указания по разработке усилителя мощности с заданной логарифмической амплитудно-частотной характеристикой в соответствии с индивидуальными вариантами заданий;

раздел «Заключение» содержит обобщения по методической направленности использования методических указаний.

1. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1.1. СОСТАВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Входящие в курсовую работу документы следует оформлять в строгом соответствии с требованиями Единой Системы Конструкторской Документации (ГОСТ 2.00-93). Единая система конструкторской документации (ЕСКД) - это комплекс государственных стандартов, который устанавливает взаимосвязанные правила, требования и нормы по разработке, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия (при проектировании, разработке, изготовлении, контроле, приёмке, эксплуатации, ремонте, утилизации).

В состав курсовой работы входит пояснительная записка объемом 35 страниц машинописного текста и 3 листов формата А3 со схемами и чертежами.

1.2. РАЗДЕЛЫ, ЧЕРТЕЖИ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1.2.1. РАЗДЕЛЫ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ЧЕРТЕЖИ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Пояснительная записка является конструкторским документом и должна соответствовать требованиям ЕСКД (ГОСТ 2.105 - 95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам»).

Пояснительная записка (ПЗ) курсовой работы обычно содержит следующие разделы:

- 1) титульный лист;
- 2) реферат;
- 3) содержание;
- 4) введение (обзор радиоэлектронных устройств данного класса по литературным источникам);
- 5) анализ технического задания и синтез структурной и функциональной схем РЭУ;
- 6) разработка принципиальной схемы РЭУ;
- 7) электрический расчет РЭУ;
- 8) приложения;
- 9) список литературы.

ПЗ может быть дополнена за счет сокращения объема некоторых других разделов одним из таких разделов: 1) расчет одной или нескольких электрических характеристик; 2) расчет надежности устройства или его частей; 3) расчет температурной стабильности устройства или его частей; 4) расчет точности параметров устройства или его частей; 5) анализ рассчитанной схемы или части на ЭВМ.

Графическая часть ПЗ - ВАХ, нагрузочные прямые, спецификации, рисунки, встречающиеся в тексте, оформляются в соответствующем графическом редакторе и входят в состав раздела 9 ПЗ - приложения.

Графическая часть курсового проекта обычно включает следующие чертежи:

1. Чертеж схемы электрической структурной (А3);
2. Чертеж схемы электрической функциональной (А3);
3. Чертеж схемы электрической принципиальной (А3);

1.2.2. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

На **титульном листе** приводят следующие сведения:

наименование университета;

наименование работы;

фамилии и инициалы исполнителя курсовой работы, руководителя курсовой работы;

дата составления ПЗ.

Подписи и даты подписания должны быть выполнены только черными чернилами. Дата оформляется арабскими цифрами в следующей последовательности: день месяца, месяц, год. День месяца и месяц оформляются двумя парами арабских цифр, разделенными точкой; год – четырьмя арабскими цифрами. Например, дату 10 апреля 2021 г. следует оформлять: 10.04.2021.

Допускается словесно-цифровой способ оформления даты, например: 10 апреля 2021 г. Допускается также оформление даты в следующей последовательности: год, месяц, день месяца, например, 2021.04.10.

Должности, ученые степени, ученые звания руководителей курсового проекта (если печатается в несколько строк, то печатать через 1 межстрочный интервал), затем оставляют свободное поле для личных подписей и помещают инициалы и фамилии лиц, подписавших отчет, в одной строке с подписями проставляют даты подписания.

Реферат должен содержать:

1) сведения об объеме пояснительной записки, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве использованных источников, а также сведения об объеме графической части курсовой работы;

2) текст реферата.

Текст реферата должен отражать:

1) объект разработки;

2) цель работы;

3) методы проведения работы;

4) результаты работы и их новизну;

5) основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики;

б) область применения;

Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование), заключение, список использованных источников и наименование приложений с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы пояснительной записки.

Слово «Содержание» записывают в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Наименования, включенные в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы.

Введение должно содержать цели и задачи разработки конструкции, оценку современного состояния разработки аналогов данного проекта, сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки, о патентных исследованиях и выводы из них. Во введении должны быть показаны актуальность и новизна разработки.

Заключение должно содержать:

- 1) краткие выводы по результатам проектирования в целом или отдельных его этапов;
- 2) оценку полноты решений поставленных задач;
- 3) разработку рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов разработки.

В конце текстового документа допускается приводить **список литературы**, которая была использована при его составлении. Выполнение списка и ссылки на него в тексте – по ГОСТ 7.32. Список литературы включают в содержание документа.

Каждый раздел ПЗ следует начинать с нового листа. Заголовки разделов должны быть краткими и оформляются прописными буквами без переноса слов симметрично тексту. Заголовки подразделов пишут с абзаца (15-17 мм) строчными буквами (кроме первой прописной). Точку в конце заголовка не ставят и не подчеркивают. Заголовки от текста выделяются интервалом 15 мм.

Страницы ПЗ нумеруются арабскими цифрами. Номер ставится в правом верхнем углу. Титульный лист включают в общую нумерацию, но номер на нем не ставят.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах ПЗ и обозначаться арабскими цифрами с точкой в конце.

Подразделы нумеруются цифрами в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой.

Рисунки размещаются после первого упоминания о них в тексте, должны иметь наименование, которое помещают под рисунком. Рисунки, размер которых больше формата А4, складывают до формата ПЗ и учитывают как одна страница.

При выполнении расчетов в формулу необходимо подставить значения символов и коэффициентов в той последовательности, в которой они приведены в формуле и привести результат вычислений.

Список используемых источников должен содержать перечень источников, используемых при выполнении проекта. Источники следует располагать в алфавитном порядке.

Приложения оформляют как продолжение ПЗ, располагая их в порядке появления ссылок на них в тексте.

1.2.3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

Текстовые документы ПЗ выполняют машинописным способом. Шрифт должен быть четким, высотой не менее 2,5 мм, только черного цвета (кегель не менее 12 с полуторным интервалом).

Расстояние от рамки формы (по ГОСТ 2.105-95) до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм. При выполнении ПЗ без рамки по ГОСТ 2.104 необходимо соблюдать следующие размеры полей: правое – не менее 10 мм, верхнее и нижнее – не менее 20 мм, левое – не менее 30 мм.

Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 – 17 мм.

Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графики) машинописным способом или черными чернилами, пастой или тушью рукописным способом.

Вне зависимости от способа выполнения ПЗ качество напечатанного текста и оформления иллюстраций, таблиц, распечаток с ПЭВМ должно удовлетворять требованию их четкого воспроизведения.

При выполнении ПЗ необходимо соблюдать равномерную плотность, контрастность и четкость изображения по всей ПЗ. Должны быть четкие, нерасплывшиеся линии, буквы, цифры и знаки.

Повреждения листов текстовых документов, помарки и следы неполностью удаленного прежнего текста (графики) не допускается.

Сокращение русских слов и словосочетаний в ПЗ – по ГОСТ 7.12 - 93.

2. ПРИМЕР ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. ПРИМЕР ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ

Таблица 2.1

Номер варианта курсовой работы и исходные данные для его выполнения вносятся в соответствующие ячейки таблицы в соответствии с индивидуальным заданием на курсовую работу.

№ ВАРИАНТА	U _{ВХ} , 10-3В	R _{ВХ} , 103ОМ, НЕ МЕНЕЕ	ЧАСТОТЫ СРЕЗА АЧХ				K _У , ДБ В ПОЛОСЕ ПРОПУСКА НИЯ	R _Н , Ом	R _Н , ВА	U _Н , В	РЕЖИМ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОР ОВ. ОК. УМ	
			ФОРМА ЛАЧХ	f ₁ , Гц	f ₂ , Гц	f ₃ , кГц						f ₄ , кГц
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
00		25	Рис. 2.1	10	130	16			50	0,35		В

Форма логарифмической амплитудно – частотной характеристики (ЛАЧХ) разрабатываемого усилителя нижних частот (УНЧ) определяется в соответствии с номером рисунка, указанного в п. 5.1 варианта задания курсового проекта.

2.2. ВАРИАНТЫ ФОРМЫ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (ЛАЧХ) УНЧ

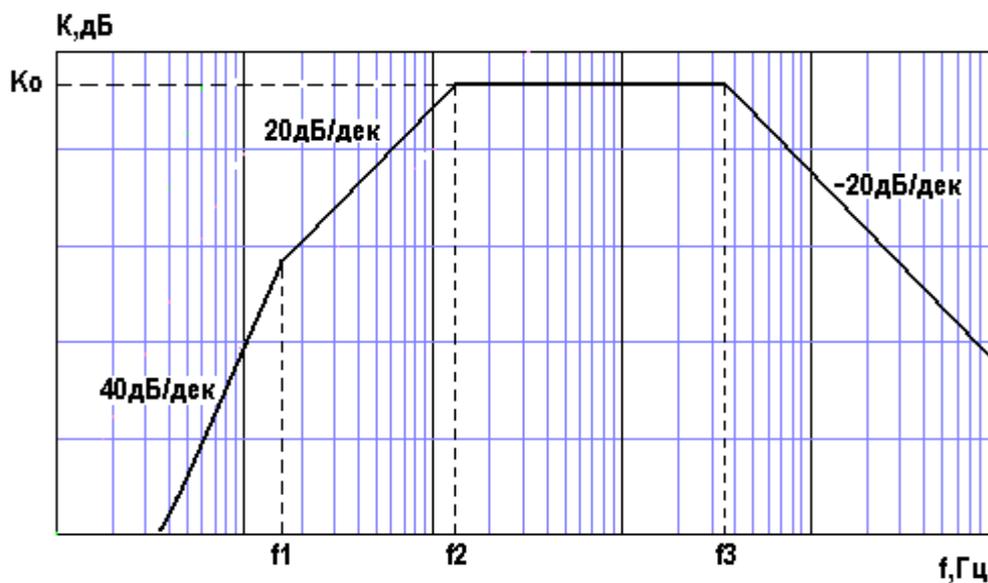


Рис. 2.1. ЛАЧХ

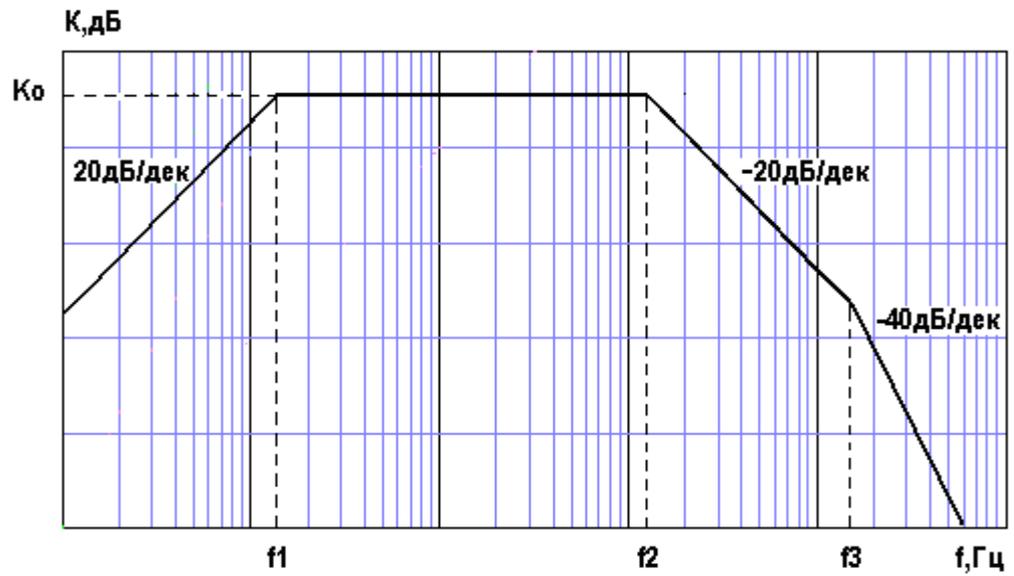


Рис. 2.2. ЛАЧХ

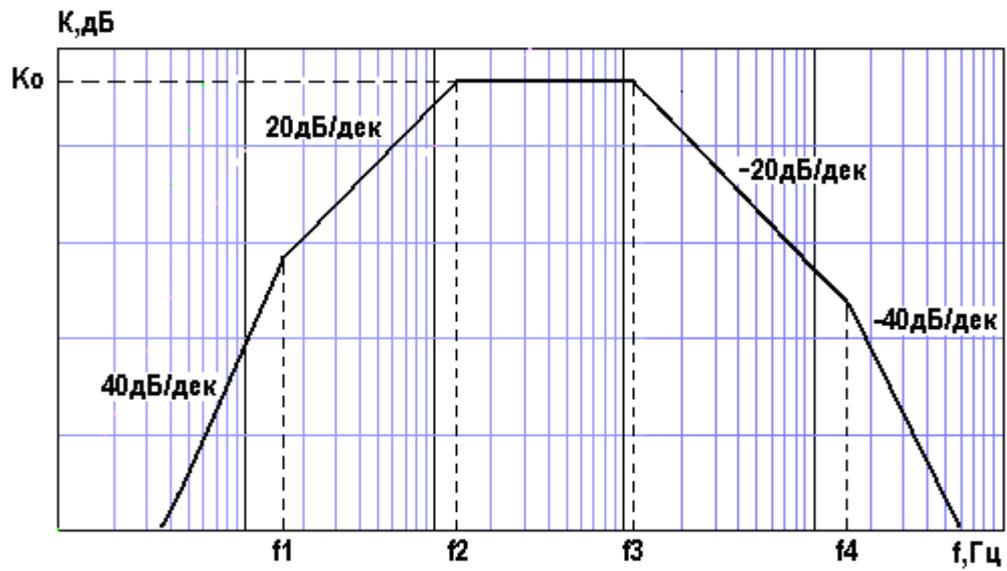


Рис. 2.3. ЛАЧХ

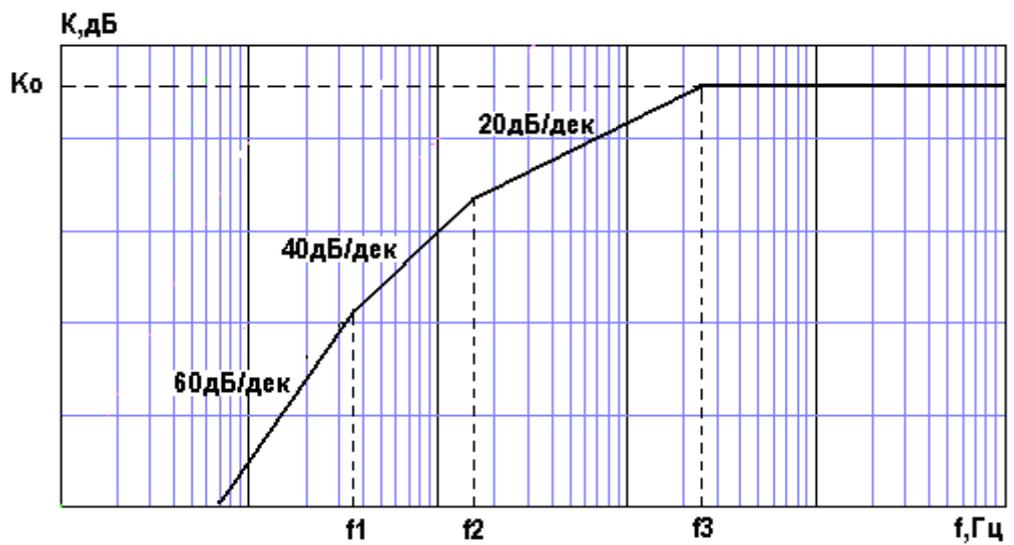


Рис. 2.4. ЛАЧХ

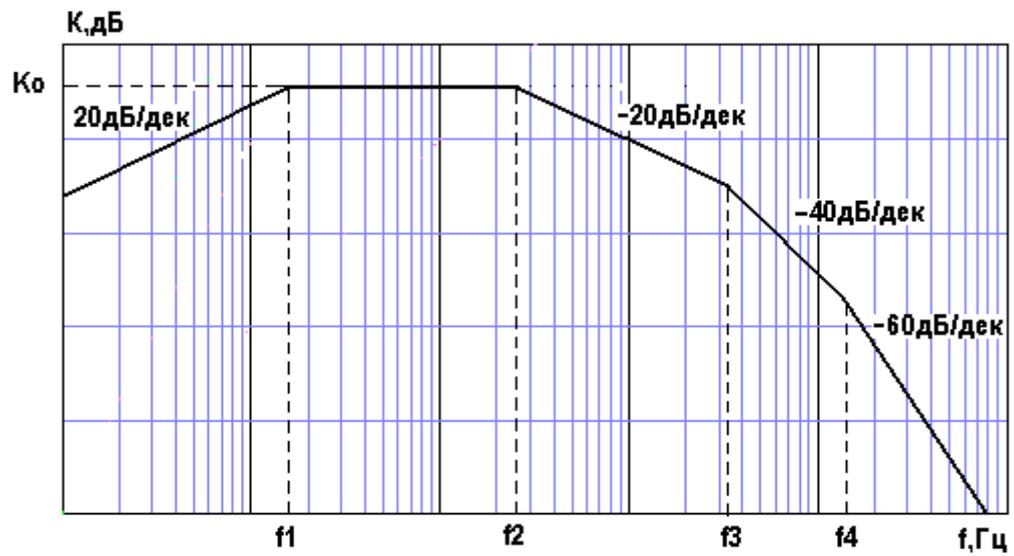


Рис. 2.5. ЛАЧХ

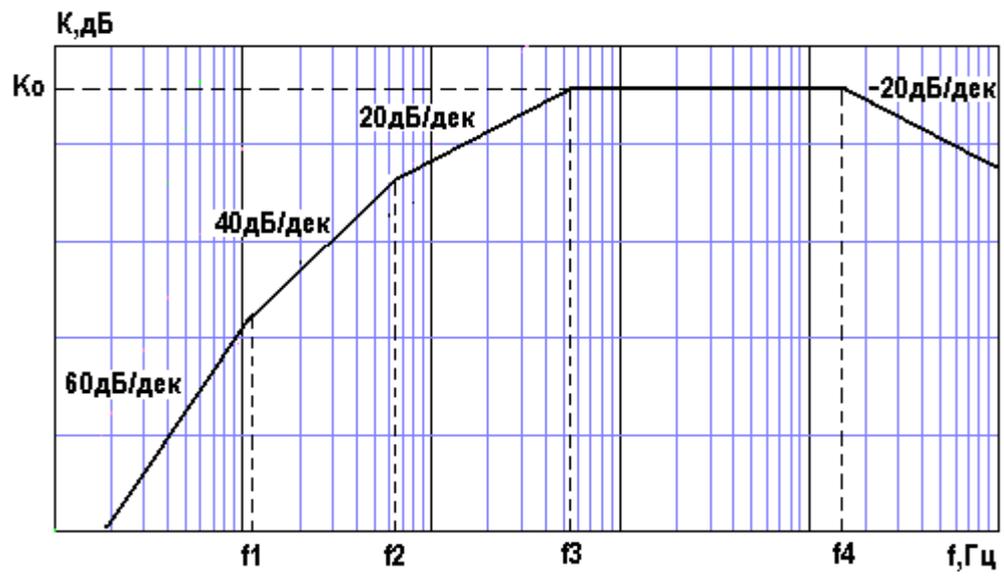


Рис. 2.6. АЧХ

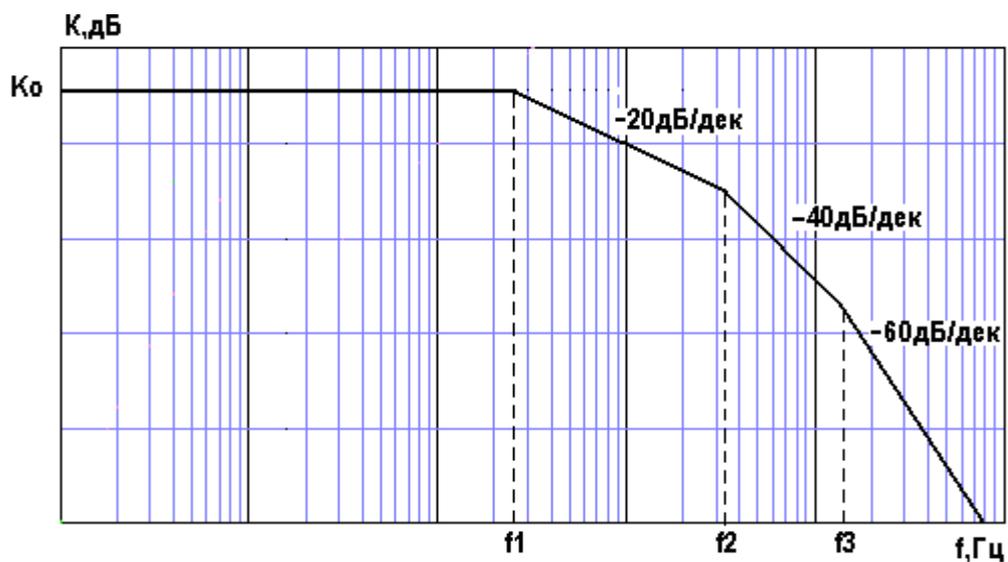


Рис. 2.7. ЛАЧХ

3. СИНТЕЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ И СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

3.1. СИНТЕЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА

Для обеспечения заданных параметров разрабатываемого устройства (вариант № 00) выбираем следующие принципы построения схемы электрической структурной:

1. Формирование амплитудно-частотной характеристики разрабатываемого устройства обеспечивается активными RC-фильтрами первого порядка высоких частот (ФВЧ) с частотами среза f_1 и f_2 и активным RC-фильтром низких частот (ФНЧ) с частотой среза f_3 ;

2. Требуемое значение мощности в нагрузке обеспечивается выходным усилителем мощности (УМ), который состоит из предварительного и окончательного каскадов;

3. Требуемое значение входного сопротивления усилителя обеспечивается входным каскадом;

4. Коэффициент усиления по напряжению УНЧ равномерно распределяется между входным каскадом, каскадом предварительного усиления и тремя каскадами активных фильтров.

Схема электрическая структурная УНЧ, синтезированная на основе изложенных принципов, представлена на рис. 3.1.

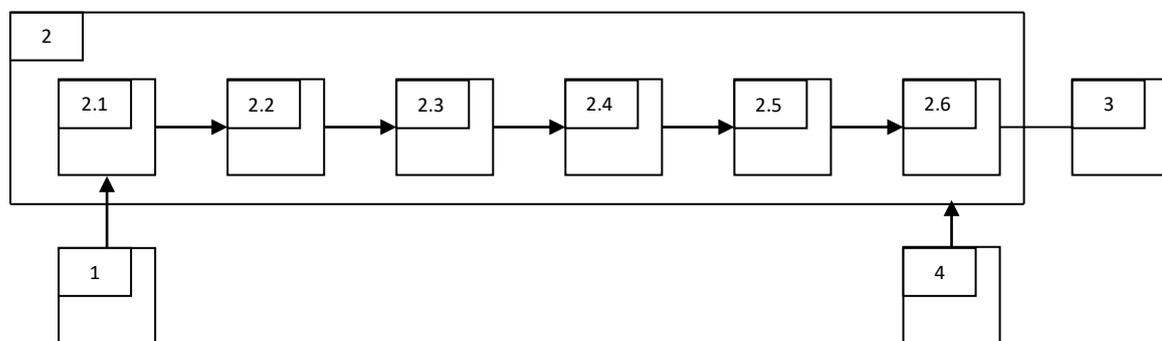


Рис. 3.1. Схема электрическая структурная УНЧ:

- 1 – источник сигнала; 2 – усилитель; 2.1 – входной каскад; 2.2 - ФВЧ1;
 2.3 - ФВЧ2; 2.4 - ФНЧ; 2.5 - предварительный каскад усилителя мощности;
 2.6 - окончательный каскад усилителя мощности; 3 - нагрузка;
 4 - источник питания

3.2. СИНТЕЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА

Для обеспечения заданного значения мощности в нагрузке выбираем двухтактный выходной каскад на комплементарной паре транзисторов.

Коэффициент усиления по напряжению такого каскада близок к 1, поэтому необходимую амплитуду напряжения обеспечивает предоконечный каскад усилителя мощности (УМ), выполненный на операционном усилителе (ОУ) в инвертирующем включении. Для снижения нелинейных искажений в нагрузке используем отрицательную обратную связь, охватывающую окончательный и предоконечный каскады УМ.

АЧХ УНЧ формируем путем последовательного включения фильтров первого порядка на основе RC цепей и согласующих операционных усилителей. Частоты среза фильтров f_1 , f_2 и f_3 рассчитываются в соответствии с техническим заданием. Коэффициенты передачи фильтров в полосе пропускания выбираем равными 1 для согласования каскадов по уровням входных и выходных напряжений и обеспечения устойчивости УНЧ.

В качестве входного каскада используем ОУ в неинвертирующем включении. Требуемое значение коэффициента усиления по напряжению зададим цепью отрицательной обратной связи. Заданное значение входного сопротивления УНЧ обеспечим соответствующим выбором сопротивления резистора подключенного к неинвертирующему входу ОУ. Схема электрическая функциональная УНЧ, синтезированная на основе изложенных принципов, представлена на рис. 3.2.

3.3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Электрический расчет разрабатываемого устройства следует начинать с последнего блока схемы электрической функциональной, т.е. с расчета окончательного каскада.

Результатом расчета окончательного каскада должны быть исходные данные, необходимые для расчета предыдущего каскада - предварительного усилителя, т.е. блока 2.5 схемы электрической функциональной (рис. 3.2) и т.д. Электрический расчет основных фрагментов курсового проекта выполняется студентами на практических занятиях.

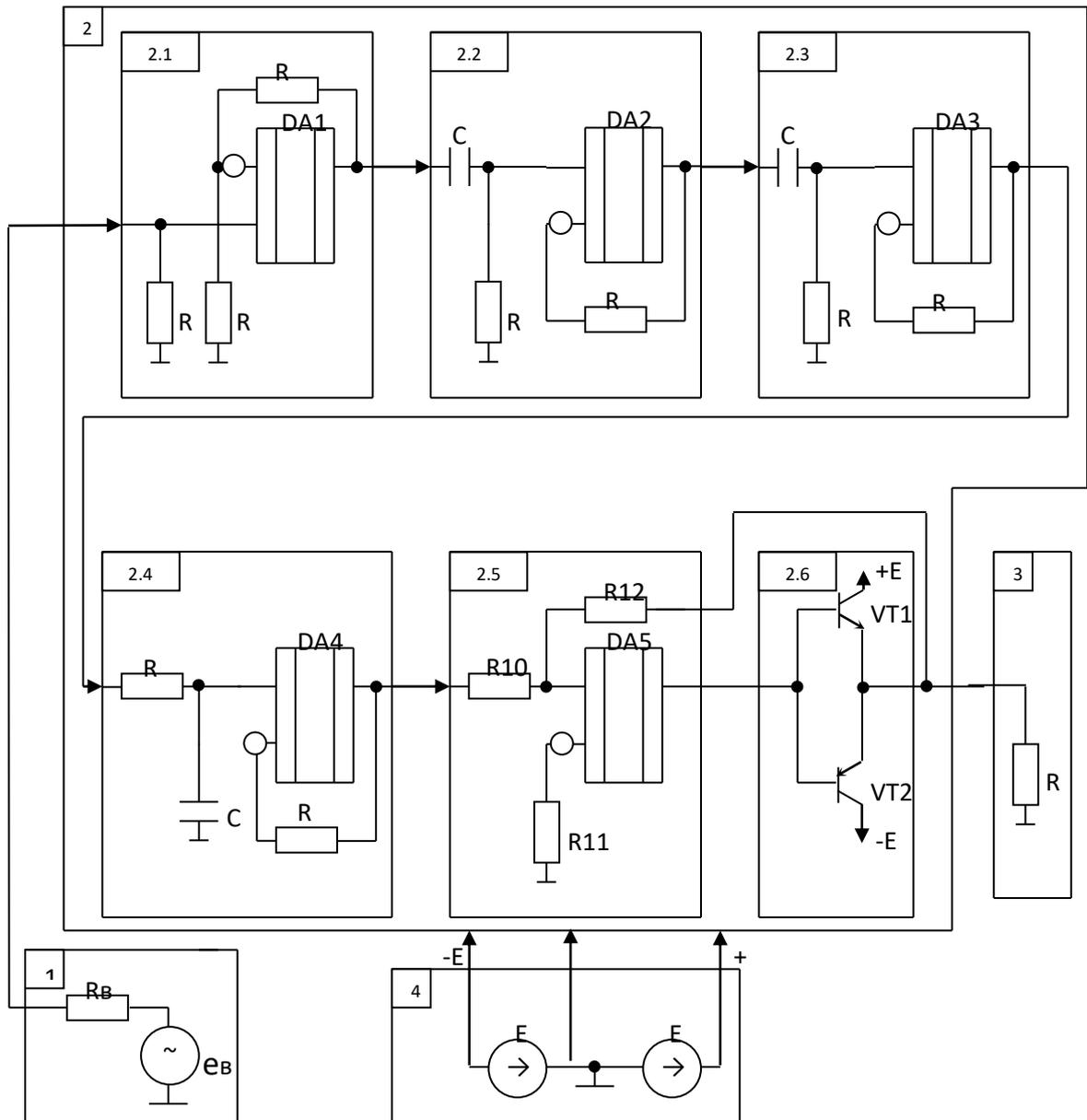


Рис. 3.2. Схема электрическая функциональная УНЧ

1 – источник сигнала; 2 – усилитель; 2.1 – входной каскад на базе неинвертирующего включения ОУ; 2.2 - активный фильтр верхних частот первого порядка на основе дифференцирующей цепочки, включенной на входе ОУ; 2.3 - активный фильтр верхних частот первого порядка на основе дифференцирующей цепочки включенной на входе ОУ; 2.4 - активный фильтр нижних частот первого порядка на основе интегрирующей RC-цепочки включенной на входе; 2.5 - предварительный каскад усилителя мощности с использованием инвертирующего включения ОУ; 2.6 - оконечный каскад усилителя мощности на биполярных транзисторах; 3 - нагрузка; 4 - источник питания

4. ПРИМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ФРАГМЕНТОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

4.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (РЕЖИМ РАБОТЫ ОКОНЕЧНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ: В)

Исходные данные (вариант 00):

входное сопротивление $R_{вх} = 10 \text{ кОм}$;

коэффициент усиления по напряжению $K_{уос} = 10$;

сопротивление нагрузки $R_{н} = 50 \text{ Ом}$;

мощность в нагрузке $P_{н} = 350 \text{ мВт}$;

нижняя граничная частота $f_{н} = 300 \text{ Гц}$;

верхняя граничная частота $f_{в} = 3 \text{ кГц}$;

режим работы окончных транзисторов: В.

4.1.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА

1. Схема электрическая принципиальная двухтактного окончного каскада усилителя мощности (УМ) представлена на рис. 4.1.

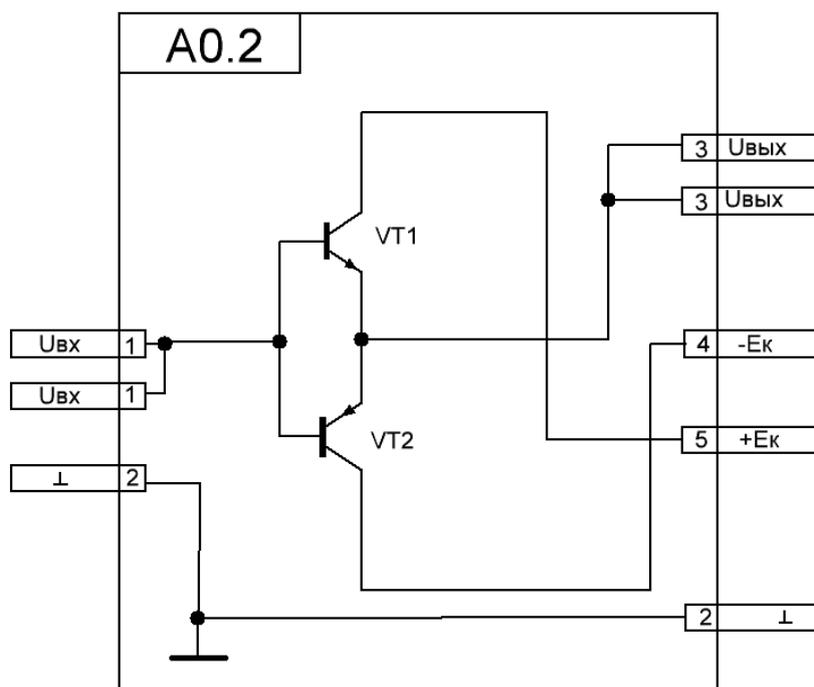


Рис. 4.1. Схема электрическая принципиальная окончного каскада УМ при работе транзисторов в режиме В

2. Определяем величину амплитуд тока и напряжения в нагрузке:

$$I_m = \sqrt{\frac{2P_H}{R_H}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,35}{50}} \cong 0,118 \text{ А};$$

$$U_m = \sqrt{2P_H \cdot R_H} = \sqrt{2 \cdot 0,35 \cdot 50} \cong 5,92 \text{ В}.$$

3. Находим величину напряжения источника питания при двухполярном питании выходного каскада:

$$E' = 1,25U_m = 1,25 \cdot 5,95 = 7,4 \text{ В}.$$

Выбираем ближайшее стандартное значение $E = 9 \text{ В}$.

4. Определяем максимальное значение мощности, рассеиваемой коллектором транзистора выходного каскада при его работе в режиме В:

$$P_{к \text{ макс}} = \frac{E^2}{\pi^2 |z_H| \cos \varphi} = \frac{9^2}{3,14^2 \cdot 50 \cdot \cos 0^0} = 0,165 \text{ Вт},$$

где $|z_H|$ – модуль сопротивления нагрузки; φ – угол сдвига фаз между током и напряжением в нагрузке (для чисто активной нагрузки $\varphi = 0^0$).

5. Определяем требования, предъявляемые к транзисторам выходного каскада по току, напряжению, рассеиваемой мощности и частотным свойствам:

$$I_{к \text{ доп}} \geq 1,25I_m = 1,25 \cdot 0,118 = 0,15 \text{ А},$$

$$U_{кэ \text{ доп}} \geq 2,15E = 2,15 \cdot 9 = 19,35 \text{ В},$$

$$P_{к \text{ доп}} \geq 1,2 P_{к \text{ макс}} = 1,2 \cdot 0,165 = 0,198 \text{ Вт},$$

$$f_1/h_{21Э} > f_B = 3 \cdot 10^3 \text{ Гц},$$

где f_1 – частота единичного коэффициента усиления по току транзисторов оконечного каскада, $h_{21Э}$ – статический коэффициент передачи транзистора по току.

Из паспортных данных выбираем комплементарную пару транзисторов КТ503Б и КТ502Б: КТ503Б – тип n-p-n, $P_{к \text{ доп}} = 350 \text{ мВт}$, $U_{кэ \text{ доп}} = 40 \text{ В}$, $I_{к \text{ доп}} = 150 \text{ мА}$, $h_{21Э} = 80 \dots 240$, $f_1 = 5 \text{ МГц}$; КТ502Б – тип p-n-p, $P_{к \text{ доп}} = 350 \text{ мВт}$, $U_{кэ \text{ доп}} = 40 \text{ В}$, $I_{к \text{ доп}} = 150 \text{ мА}$, $h_{21Э} = 80 \dots 240$, $f_1 = 5 \text{ МГц}$.

6. Для проверки полученных значений параметров выходного каскада производим построение нагрузочной прямой и кусочно-линейной аппроксимации выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзистора КТ503Б. Из паспортных данных находим напряжение насыщения $U_{кэ \text{ нас}} = 0,2 \text{ В}$ (типовое) при $I_{к \text{ нас}} = 10 \text{ мА}$ и $I_{б \text{ нас}} = 1 \text{ мА}$.

Определяем крутизну линии критического режима:

$$S_{кр} = \frac{I_{кнас}}{U_{кэ нас}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 0,05 \text{ A/V}.$$

Определяем величину амплитуды тока базы, соответствующую максимальному значению амплитуды тока нагрузки:

$$I_{бм} \approx \frac{I_m}{h_{21э мин}} = \frac{0,118}{80} = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

Определяем значение тока коллектора для построения нагрузочной прямой:

$$I_{кн} = \frac{E}{R_n} = \frac{9}{50} = 0,18 \text{ A}.$$

Находим координаты точки для построения линии критического режима. Для этого полагаем $I_{к нас}^* = 0,2 \text{ A}$, тогда:

$$U_{кэ нас}^* = I_{к нас}^* / S_{кр} = 0,2 / 0,05 = 4 \text{ В}.$$

По найденным точкам производим построение линий критического режима и нагрузочной прямой. Результаты построения показаны на рис. 4.1.

По рис. 4.2 определяем максимальное значение тока коллектора $I_{к макс} = 0,128 \text{ A}$ и минимальное значение напряжения $U_{кэ мин} = 2,6 \text{ В}$.

Определяем максимальное значение тока базы:

$$I_{б макс} = I_{к макс} / h_{21э мин} = 0,128 / 80 = 0,0016 \text{ A} = 1,6 \text{ mA};$$

7. Учитывая, что $I_K = I_{s0} (e^{\frac{U_{бэ}}{\varphi_T}} - 1)$, где I_{s0} – обратный ток коллектора (для КТ503 - $I_{s0} \leq 1 \text{ мкА}$), φ_T – термический потенциал (для нормальных условий $\varphi_T = 26 \text{ мВ}$), получим, что для $I_{к макс} = 0,128 \text{ A}$ значение $U_{бэ макс} = 0,305 \text{ В}$.

8. На основе полученных данных определяем амплитуду напряжения на входе оконечного каскада:

$$U_{вх.ок} = U_m + U_{бэ макс} = 5,92 + 0,305 = 6,225 \text{ В},$$

и максимальную мощность, отдаваемую в нагрузку:

$$P_{н макс} = \frac{(E - U_{кэ мин}) I_{к макс}}{2} = \frac{(9 - 2,6) \cdot 0,128}{2} = 0,41 \text{ Вт.}$$

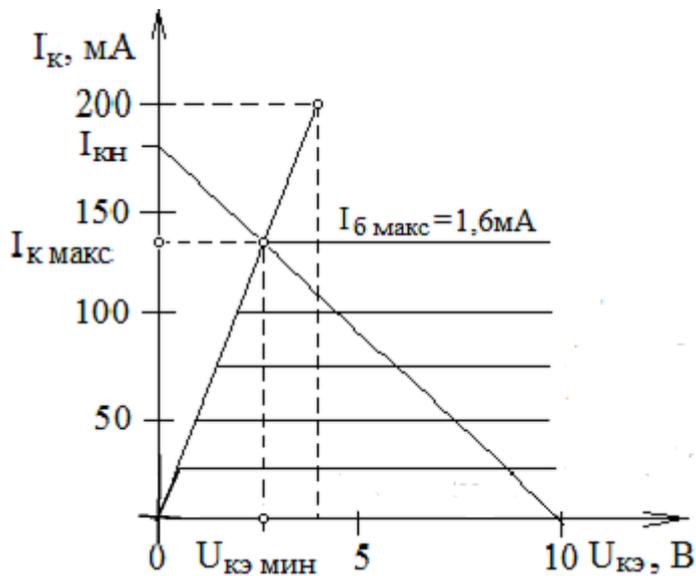


Рис. 4.2. Нагрузочная прямая и линейно-кусочная аппроксимация выходной ВАХ транзистора КТ503Б

Проверяем выполнение условий:

$$I_{к макс} < I_{к макс доп}; \quad 0,128 \text{ А} < 0,150 \text{ А};$$

$$P_{н} \leq P_{н макс}; \quad 0,35 \text{ Вт} \leq 0,4 \text{ Вт.}$$

Таким образом, выбранный режим работы выходного каскада обеспечивает заданное значение мощности в нагрузке. Максимальное значение тока коллектора транзистора не превышает допустимого значения, т.е. транзисторы и режим их работы выбраны верно.

9. Определяем входное сопротивление окончного каскада:

$$R_{вх ок В} \approx R_{н}(h_{21э мин} + 1) = 50(80 + 1) = 4\,050 \text{ Ом.}$$

Исходя из полученного значения $R_{вх}$, в предварительном усилителе можно использовать операционные усилители с допустимой величиной сопротивления нагрузки $R_{н мин} \leq 4,05 \text{ кОм}$.

4.1.2. РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КАСКАДА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

1. Определяем требования к частоте единичного усиления ОУ ($f_{1\text{ОУ}}$) и к максимальной скорости нарастания выходного напряжения ОУ $V_{\text{макс}}$:

$$f_{1\text{ОУ}} = 5 \cdot K_{\text{Уос}} \cdot f_{\text{В}} = 5 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^3 = 0,15 \cdot 10^6 \text{ Гц};$$

$$V_{\text{макс}} \geq 2\pi f_{\text{В}} \cdot U_{\text{м}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 5,92 = 0,11 \cdot 10^6 \text{ В/с} = 0,11 \text{ В/мкс.}$$

2. С учетом полученных требований к ОУ на основе паспортных данных выбираем ОУ К1407УД1 со следующими параметрами:

$$U_{\text{пит}} = \pm (1,2 \dots 13,2) \text{ В};$$

$$K_{\text{u}} = 10 \cdot 10^3;$$

$$I_{\text{вх}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ А};$$

$$f_1 = 20 \cdot 10^6 \text{ Гц};$$

$$V_{\text{u вых}} = 10 \text{ В/мкс};$$

$$R_{\text{вх}} \geq 200 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{н мин}} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

В соответствии с паспортными данными на ОУ типа К1407УД1, для обеспечения устойчивой работы емкость конденсатора С2 цепи частотной коррекции должна быть равна 4,7 пФ.

Схема электрическая принципиальная предварительного каскада усилителя мощности представлена на рис. 4.3.

3. Определяем номиналы элементов схемы:

3.1. Так как входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ определяется величиной сопротивления резистора R1, находим значение сопротивления резистора R1 из соотношения:

$$R_{\text{вх}} \leq R1 \ll R_{\text{вх ОУ}};$$

$$10^4 \text{ Ом} \leq R1 \ll 10^5 \text{ Ом};$$

Из стандартного 10% ряда номиналов резисторов и типов подстроечных резисторов выбираем резистор R1-СП5-16ВА-0,5-10 кОм;

3.2. Определяем значение емкости разделительного конденсатора С1 из соотношения:

$$C1 \geq 50 / (2\pi f_{\text{н}} \cdot R1) = 50 / (2 \cdot 3,14 \cdot 300 \cdot 10^4) \approx 2,65 \cdot 10^{-6} \text{ Ф};$$

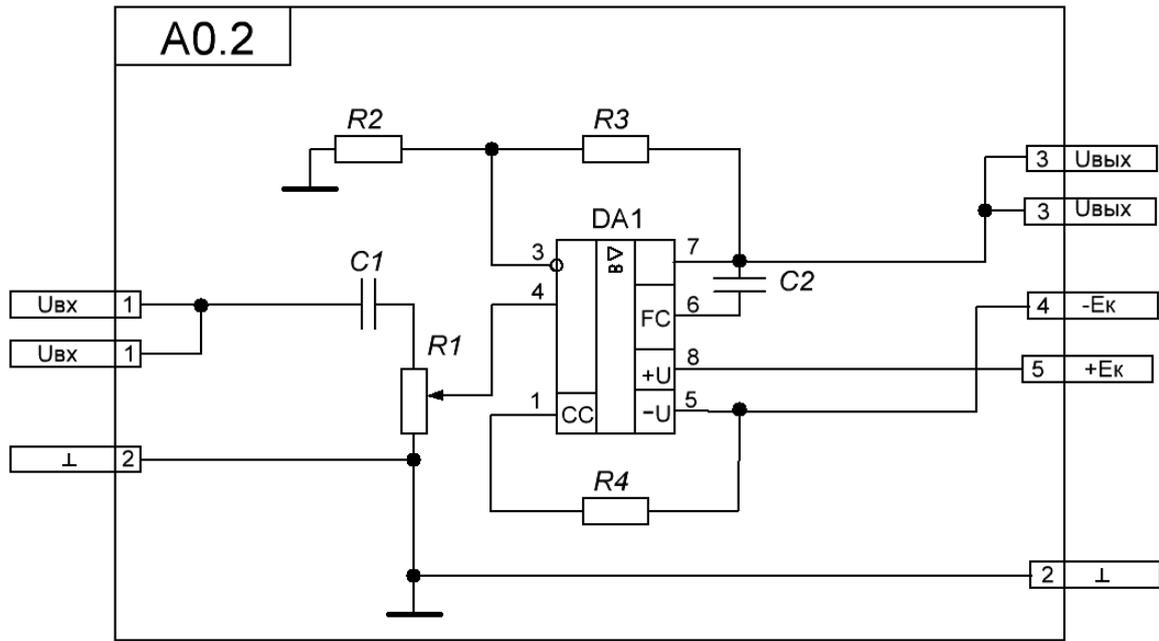


Рис. 4.3. Схема электрическая принципиальная предварительного каскада усилителя мощности

3.3. Исходя из заданного значения коэффициента усиления $K_{\text{уос}}$ и условия балансировки ОУ, определяем величины сопротивлений резисторов цепи обратной связи $R2$ и $R3$:

$$R2 = R1 = 10 \text{ кОм},$$

$$R3 = R2(K_{\text{уос}} - 1) = 10 \cdot 10^3(10 - 1) = 90 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

Из стандартного 5% ряда номиналов резисторов выбираем резистор $R3 = 100 \text{ кОм}$, резистор $R2 = 11 \text{ кОм}$.

Проверяем выполнение условия

$$(R2 + R3)R_{\text{вх ок В}} / (R2 + R3 + R_{\text{вх ок В}}) > R_{\text{н min}};$$

$$(10 + 90) \cdot 4,05 / (10 + 90 + 4,05) \text{ кОм} > 1 \text{ кОм};$$

3.4. Задаем величину тока управления ОУ $I_{\text{упр}} = 10^{-3} \text{ А}$ и определяем сопротивление резистора регулировки тока $R4$ в соответствии с паспортными данными на ОУ К1407УД1:

$$R4 = (2U_{\text{пит}} - 0,7) / I_{\text{упр}} = (2 \cdot 9 - 0,7) / 10^{-3} = 17,3 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Из стандартного 5% ряда номиналов резисторов выбираем резистор $R4 =$

18 кОм;

3.5. Определяем максимальные значения мощностей рассеивания резисторов R1, R2 и R3:

$$P_{R1} = E^2/(R1) = 9^2/(10 \cdot 10^3) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$P_{R2} = E^2/(R2) = 9^2/(10 \cdot 10^3) = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$P_{R3} = E^2/(R3) = 9^2/(90 \cdot 10^3) = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}.$$

4. Выбираем типы резисторов и конденсаторов, входящих в состав схемы:

R1 - СП5-16ВА-0, 5-10 кОм ±10%;

R2 - С2-1-0,125-10 кОм±5%;

R3 - С2-1-0,125-90 кОм±5%;

R4 - С2-1-0,125-18 кОм±5%;

C1 – К76П-1-63В-3,3 мкФ±10%;

C2 - К10-17Б-М47-4,7 пФ±5%.

5. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности в упрощенном виде показана на рис. 4.4. Для уменьшения нелинейных искажений усилитель охвачен общей цепью отрицательной обратной связи, для чего резистор R3 соединен с выходом оконечного каскада УМ.

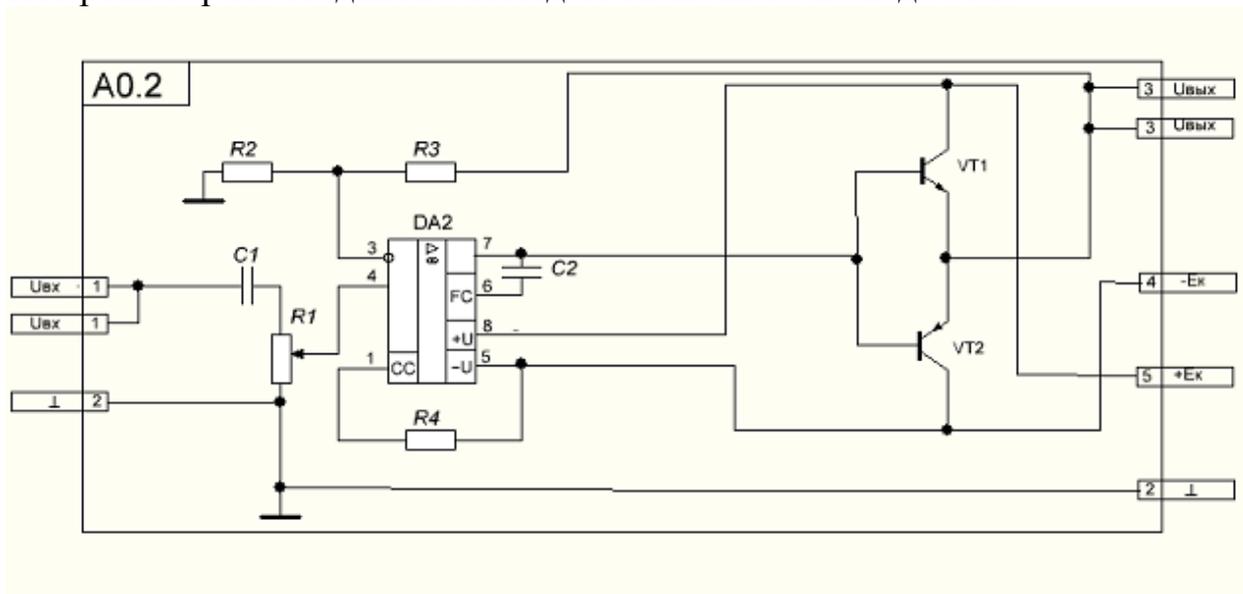


Рис. 4.4. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Перечень элементов схемы электрической принципиальной усилителя мощности:

R1 - СП5-16ВА-0,5-10 кОм ±10%;

R2 - С2-1-0,125-11 кОм±5%;

R3 - С2-1-0,125-100 кОм±5%;

R4 - С2-1-0,125-18 кОм±5%;

C1 – К76П-1-63В-3,3 мкФ±10%;

C2 - K10-17Б-М47-4,7ПФ±5%.

4.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (РЕЖИМ РАБОТЫ ОКОНЕЧНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ: А-В)

Исходные данные (вариант 00):

входное сопротивление $R_{вх} = 10$ кОм;

коэффициент усиления по напряжению $K_{уос} = 10$;

сопротивление нагрузки $R_{н} = 50$ Ом;

мощность в нагрузке $P_{н} = 350$ мВт;

нижняя граничная частота $f_{н} = 0$ Гц;

верхняя граничная частота $f_{в} = 3$ кГц;

режим работы оконечных транзисторов: А-В.

4.2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА

1. Схема электрическая принципиальная двухтактного оконечного каскада усилителя мощности (УМ) представлена на рис. 4.5.

2. Определяем величину амплитуд тока и напряжения в нагрузке:

$$I_m = \sqrt{\frac{2P_{н}}{R_{н}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,35}{50}} \cong 0,118 \text{ А};$$

$$U_m = \sqrt{2P_{н} \cdot R_{н}} = \sqrt{2 \cdot 0,35 \cdot 50} \cong 5,92 \text{ В}.$$

3. Находим величину напряжения источника питания при двухполярном питании выходного каскада:

$$E' = 1,25U_m = 1,25 \cdot 5,95 = 7,4 \text{ В}.$$

Выбираем ближайшее стандартное значение $E = 9$ В.

4. Определяем максимальное значение мощности, рассеиваемой коллектором транзистора выходного каскада при его работе в режиме А-В:

$$P_{к \text{ макс}} = I_{к0} \cdot E + \frac{E^2}{\pi^2 |Z_{н}| \cos \varphi},$$

где $I_{к0} = 0,1I_m$ – выбранное значение тока покоя транзисторов выходного каскада, $|Z_{н}|$ – модуль сопротивления нагрузки, φ – угол сдвига фаз между током и напряжением в нагрузке (для чисто активной нагрузки $\varphi = 0^0$).

$$P_{к \text{ макс}} = 0,118 \cdot 0,1 \cdot 9 + 9^2 / (3,14^2 \cdot 50 \cdot \cos 0^0) = 0,272 \text{ Вт}.$$

5. Определяем требования, предъявляемые к транзисторам выходного каскада по току, напряжению, рассеиваемой мощности и частотным свойствам:

$$I_{к доп} \geq 1,25I_m = 1,25 \cdot 0,118 = 0,15 \text{ А},$$

$$U_{кэ доп} \geq 2,15E = 2,15 \cdot 9 = 19,35 \text{ В},$$

$$P_{к доп} \geq 1,2 P_{к макс} = 1,2 \cdot 0,272 = 0,326 \text{ Вт},$$

$$f_1/h_{21Э} > f_B = 3 \cdot 10^3 \text{ Гц},$$

где f_1 - частота единичного коэффициента усиления по току транзисторов оконечного каскада, $h_{21Э}$ - статический коэффициент передачи транзистора по току.

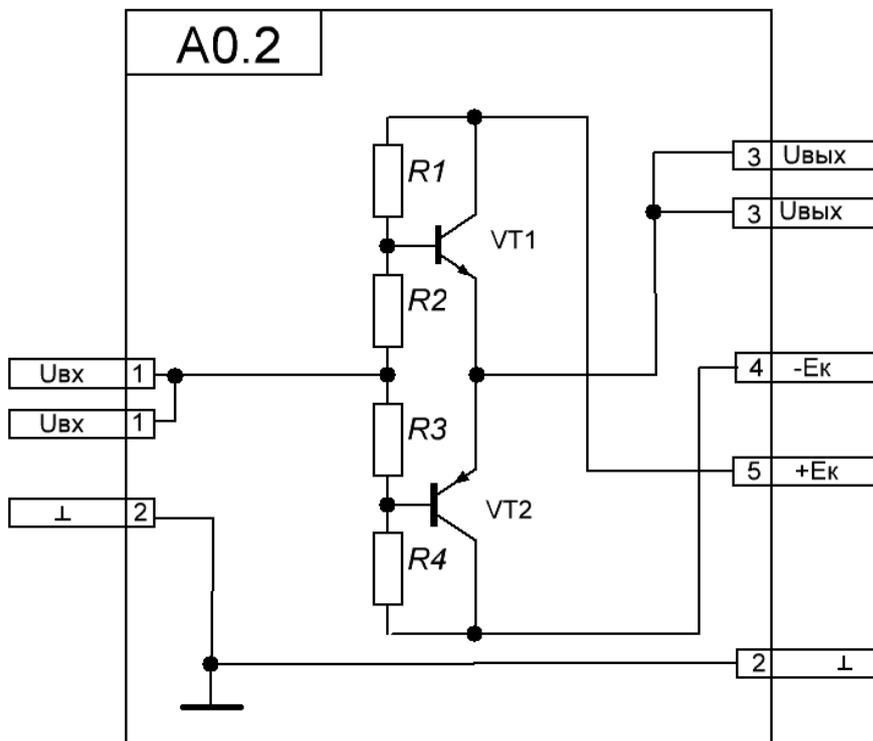


Рис. 4.5. Схема электрическая принципиальная оконечного каскада УМ при работе транзисторов в режиме А-В

Из паспортных данных выбираем комплементарную пару транзисторов КТ503Б и КТ502Б: КТ503Б – тип n-p-n, $P_{к доп} = 350$ мВт, $U_{кэ доп} = 40$ В, $I_{к доп} = 150$ мА, $h_{21Э} = 80 \dots 240$, $f_1 = 5$ МГц; КТ502Б – тип p-n-p, $P_{к доп} = 350$ мВт, $U_{кэ доп} = 40$ В, $I_{к доп} = 150$ мА, $h_{21Э} = 80 - 240$, $f_1 = 5$ МГц.

6. Для проверки полученных значений параметров выходного каскада

производим построение нагрузочной прямой и кусочно-линейной аппроксимации выходных ВАХ транзистора КТ503Б. Из паспортных данных находим напряжение насыщения $U_{кэ\text{ нас}} = 0,2$ В (типичное) при $I_{к\text{ нас}} = 10$ мА и $I_{б\text{ нас}} = 1$ мА.

Определяем крутизну линии критического режима:

$$S_{кр} = \frac{I_{к\text{ нас}}}{U_{кэ\text{ нас}}} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 0,05 \text{ А/В}.$$

Определяем величину амплитуды тока базы, соответствующую максимальному значению амплитуды тока нагрузки:

$$I_{бм} \approx \frac{I_m}{h_{21э\text{ мин}}} = \frac{0,118}{80} = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Определяем значение тока коллектора для построения нагрузочной прямой:

$$I_{кн} = \frac{E}{R_n} = \frac{9}{50} = 0,18 \text{ А}.$$

Находим координаты точки для построения линии критического режима. Для этого полагаем $I_{к\text{ нас}}^* = 0,2$ А, тогда:

$$U_{кэ\text{ нас}}^* = I_{к\text{ нас}}^* / S_{кр} = 0,2 / 0,05 = 4 \text{ В}.$$

По найденным точкам производим построение линий критического режима и нагрузочной прямой. Результаты построения показаны на рис. 4.6.

По рис. 4.6. определяем максимальное значение тока коллектора $I_{к\text{ макс}} = 0,128$ А и минимальное значение напряжения $U_{кэ\text{ мин}} = 2,6$ В.

Определяем максимальное значение тока базы:

$$I_{б\text{ макс}} = I_{к\text{ макс}} / h_{21э\text{ мин}} = 0,128 / 80 = 0,0016 \text{ А} = 1,6 \text{ мА}.$$

7. Построение входной и проходной ВАХ

Учитывая, что $I_k = I_{s0} (e^{\frac{U_{бэ}}{\varphi_T}} - 1)$, где I_{s0} – обратный ток коллектора (для КТ503 - $I_{s0} \leq 1$ мкА), φ_T – термический потенциал (для нормальных условий $\varphi_T = 26$ мВ), получим, что для $I_{к\text{ макс}} = 0,128$ А значение $U_{бэ\text{ макс}} = 0,305$ В.

Находим значение тока $I_{к0}$, соответствующее точке покоя:

$$I_{к\text{ макс}}/15 \leq I_{к0} \leq 0,95(I_{к\text{ макс}} - I_{м});$$

$$0,128/15 \leq I_{к0} \leq 0,95(0,128 - 0,118);$$

$$0,0085 \leq I_{к0} \leq 0,0095.$$

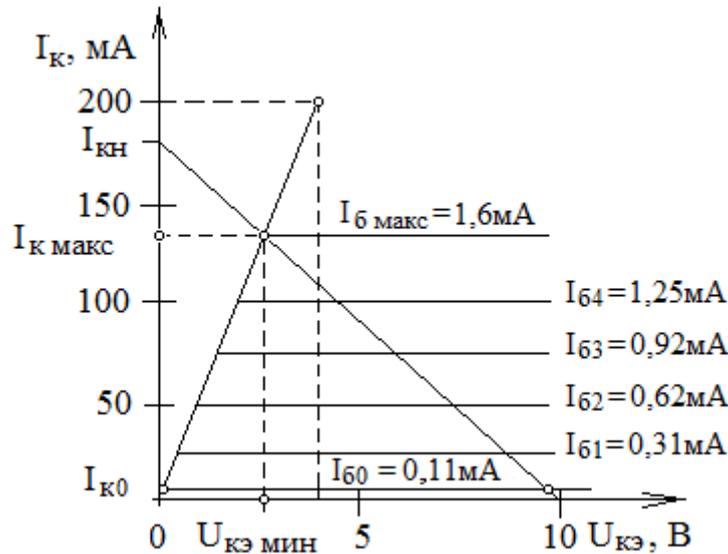


Рис. 4.6. Нагрузочная прямая и линейно-кусочная аппроксимация выходной ВАХ транзистора КТ503Б

Выбираем $I_{к0} = 0,009$ А и вычисляем соответствующее ему значение $U_{бэ0} = 0,237$ В.

Находим приращение напряжения на базе $\Delta U_{бэ\text{м}}$, соответствующее максимальному значению тока базы:

$$\Delta U_{бэ\text{ макс}} = U_{бэ\text{ макс}} - U_{бэ0} = 0,305 - 0,237 = 0,068 \text{ В.}$$

Находим значение тока $I_{б0}$, соответствующее точке покоя:

$$I_{б0} = I_{к0} / h_{21э\text{ мин}} = 9/80 = 0,11 \text{ мА.}$$

Линейно-кусочная аппроксимация входной и проходной ВАХ для транзистора КТ503Б, построенная по найденным значениям характерных точек, представлена на рис. 4.7.

8. На основе полученных данных определяем амплитуду напряжения на входе окончного каскада:

$$U_{\text{вх.ок}} = U_{\text{м}} + \Delta U_{бэ\text{ макс}} = 5,92 + 0,068 = 5,988 \text{ В}$$

и максимальную мощность, отдаваемую в нагрузку:

$$P_{н\text{ макс}} = \frac{(E - U_{кз\text{ мин}}) I_{к\text{ макс}}}{2} = \frac{(9 - 2,6) \cdot 0,128}{2} = 0,41 \text{ Вт.}$$

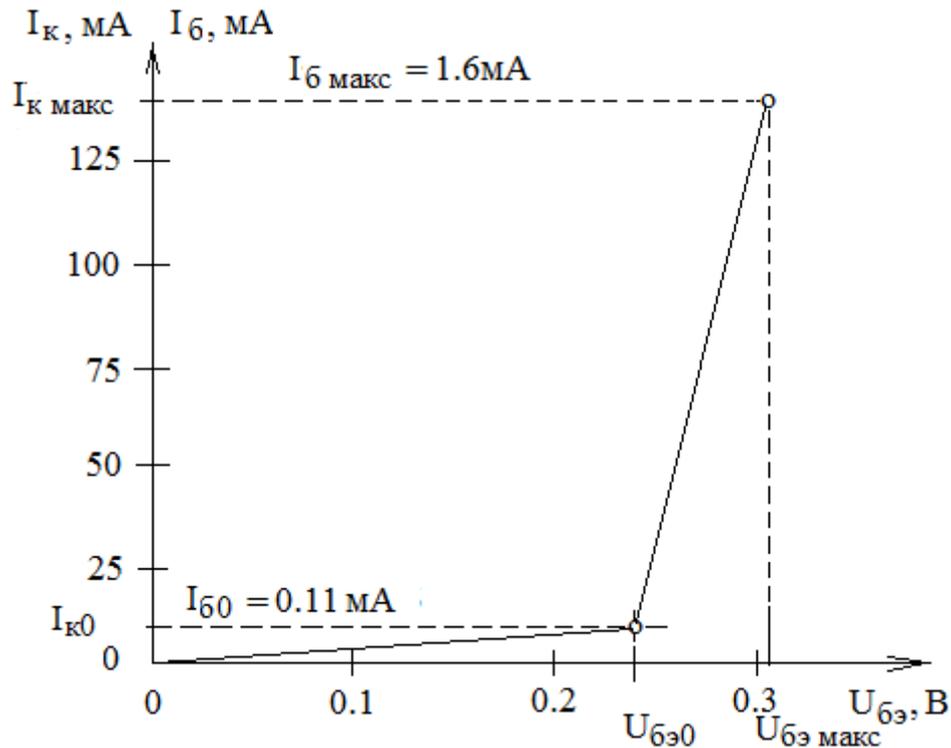


Рис. 4.7. Линейно-кусочная аппроксимация входной и проходной ВАХ транзистора КТ503Б

Проверяем выполнение условий:

$$I_{к\text{ макс}} < I_{к\text{ макс доп}}; \quad 0,128 \text{ А} < 0,150 \text{ А};$$

$$P_{н} \leq P_{н\text{ макс}}; \quad 0,35 \text{ Вт} \leq 0,4 \text{ Вт.}$$

Таким образом, выбранный режим работы выходного каскада обеспечивает заданное значение мощности в нагрузке. Максимальное значение тока коллектора транзистора не превышает допустимого значения, т.е. транзисторы и режим их работы выбраны верно.

9. Находим номиналы резисторов делителя напряжения:

$$R1 = R4 = (E - U_{бэ0}) / 10I_{б0} = (9 - 0,237) / (10 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3}) = 7,9 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$R2 = R3 = U_{бэ0} / 9I_{б0} = 0,237 / (9 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3}) = 239 \text{ Ом.}$$

10. Из стандартного 5% ряда номиналов резисторов выбираем резисторы $R1 = R4 = 8,2 \text{ кОм}$, $R2 = R3 = 240 \text{ Ом}$.

11. Определяем максимальные значения мощностей рассеивания резисторов R1, R2, R3 и R4:

$$P_{R1} = P_{R4} = (E - U_{бэ0}) \cdot 10I_{60} = (9 - 0,237) \cdot 10 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3} = 9,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$P_{R2} = U_{бэ0} \cdot 9I_{60} = 0,237 \cdot 9 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}.$$

12. Выбираем типы и мощность резисторов, входящих в состав схемы:

R1 - C2-1-0,125-8,2 кОм \pm 5%;

R2 - C2-1-0,125-240 кОм \pm 5%;

R3 - C2-1-0,125-240 кОм \pm 5%;

R4 - C2-1-0,125-8,2 кОм \pm 5%.

13. Определяем сопротивление делителя R1 - R4, приведенное ко входу оконечного каскада:

$$R_{д} \approx R1 \cdot R4 / (R1 + R4) = 8,2 \cdot 10^3 \cdot 8,2 \cdot 10^3 / (8,2 \cdot 10^3 + 8,2 \cdot 10^3) = 4,1 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

14. Определяем входное сопротивление оконечного каскада:

1) в режиме В

$$R_{вх \text{ ок В}} \approx R_{н}(h_{21э \text{ мин}} + 1) = 50(80 + 1) = 4050 \text{ Ом};$$

2) в режиме А-В

$$\begin{aligned} R_{вх \text{ ок АВ}} &\approx R_{вх \text{ ок В}} \cdot R_{д} / (R_{вх \text{ ок В}} + R_{д}) = \\ &= 4,05 \cdot 10^3 \cdot 4,1 \cdot 10^3 / (4,05 \cdot 10^3 + 4,1 \cdot 10^3) = 2,04 \cdot 10^3 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

15. Исходя из полученного значения $R_{вх}$, в предварительном усилителе можно использовать операционные усилители с допустимой величиной сопротивления нагрузки $R_{н \text{ min}} \leq 2,04 \text{ кОм}$.

4.2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КАСКАДА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

1. Определяем требования к частоте единичного усиления ОУ ($f_{1ОУ}$) и к максимальной скорости нарастания выходного напряжения ОУ $V_{\text{макс}}$:

$$f_{1ОУ} = 5 \cdot K_{Уос} \cdot f_{в} = 5 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^3 = 0,15 \cdot 10^6 \text{ Гц};$$

$$V_{\text{макс}} \geq 2\pi f_{в} \cdot U_{м} = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 5,92 = 0,11 \cdot 10^6 \text{ В/с} = 0,11 \text{ В/мкс}.$$

2. С учетом полученных требований к ОУ на основе паспортных данных выбираем ОУ К1407УД1 со следующими параметрами:

$$U_{\text{пит}} = \pm (1,2 - 13,2)\text{В};$$

$$K_u = 10 \cdot 10^3;$$

$$I_{\text{вх}} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ А};$$

$$f_1 = 20 \cdot 10^6 \text{ Гц};$$

$$V_{u \text{ вых}} = 10 \text{ В/мкс};$$

$$R_{\text{вх}} \geq 200 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{н мин}} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

В соответствии с паспортными данными на ОУ типа К1407УД1 для обеспечения устойчивой работы емкость конденсатора С2 цепи частотной коррекции должна быть равна 4,7 пФ.

Схема электрическая принципиальная предварительного каскада усилителя мощности представлена на рис. 4.8.

3. Определяем номиналы элементов схемы:

3.1. Так как входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ определяется величиной сопротивления резистора R1, находим значение сопротивления резистора R1 из соотношения:

$$R_{\text{вх}} \leq R1 \ll R_{\text{вх ОУ}},$$

$$10^4 \text{ Ом} \leq R1 \ll 10^5 \text{ Ом};$$

Из стандартного 10% ряда номиналов резисторов и типов подстроечных резисторов выбираем резистор R1-СП5-16ВА-0,5-10 кОм;

3.2. Исходя из заданного значения коэффициента усиления $K_{\text{уос}}$ и условия балансировки ОУ, определяем величины сопротивлений резисторов цепи обратной связи R2 и R3:

$$R2 = R1 = 10 \text{ кОм};$$

$$R3 = R2(K_{\text{уос}} - 1) = 10 \cdot 10^3 \cdot (10 - 1) = 90 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

Из стандартного 5% ряда номиналов резисторов выбираем резистор R3 = 100 кОм, резистор R2 = 11 кОм.

Проверяем выполнение условия для режима А-В:

$$(R2 + R3)R_{\text{вх ок АВ}} / (R2 + R3 + R_{\text{вх ок АВ}}) > R_{\text{н мин}};$$

$$(11 + 100) \cdot 2,04 / (11 + 100 + 2,04) \text{ кОм} > 2 \text{ кОм};$$

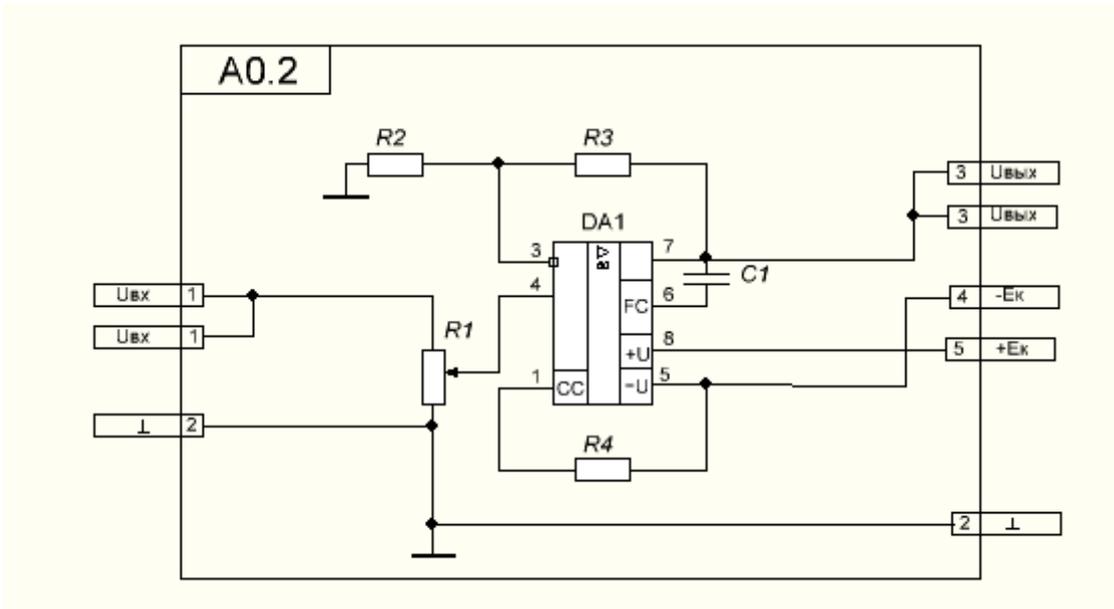


Рис. 4.8. Схема электрическая принципиальная предварительного каскада усилителя мощности

3.3. Задаем величину тока управления ОУ $I_{упр} = 10^{-3}$ А и определяем сопротивление резистора регулировки тока R4 в соответствии с паспортными данными на ОУ К1407УД1:

$$R4 = (2U_{пит} - 0,7) / I_{упр} = (2 \cdot 9 - 0,7) / 10^{-3} = 17,3 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

Из стандартного 5% ряда номиналов резисторов выбираем резистор $R4 = 18 \text{ кОм}$;

3.4. Определяем максимальные значения мощностей рассеивания резисторов R1, R2 и R3:

$$P_{R1} = E^2 / (R1) = 9^2 / (10 \cdot 10^3) = 8,1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$P_{R2} = E^2 / (R2) = 9^2 / (10 \cdot 10^3) = 8,1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$P_{R3} = E^2 / (R3) = 9^2 / (91 \cdot 10^3) = 8,9 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}.$$

4. Выбираем типы резисторов и конденсаторов, входящих в состав схемы (прил. 3 – 5):

R1 - СП5-16ВА-0,5-10 кОм $\pm 10\%$;

R2 - С2-1-0,125-10 кОм $\pm 5\%$;

R3 - С2-1-0,125-91 кОм $\pm 5\%$;

R4 - С2-1-0,125-18 кОм $\pm 5\%$;

C1 - К10-17Б-М47-4,7пФ $\pm 5\%$.

5. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности в упрощенном виде показана на рис. 4.9. Для уменьшения нелинейных искажений усилитель охвачен общей цепью отрицательной обратной связи, для чего резистор R3 соединен с выходом оконечного каскада УМ.

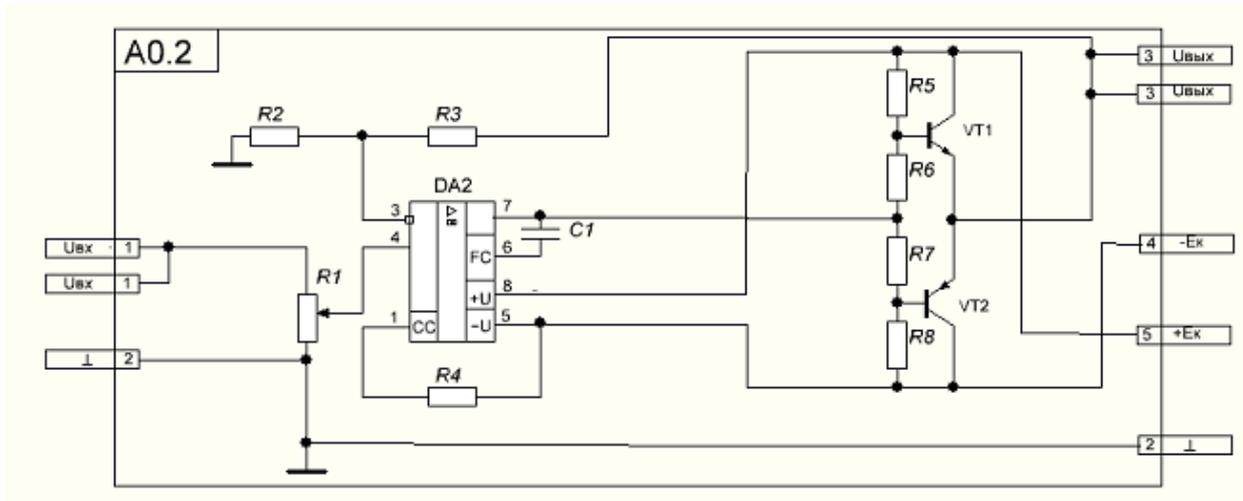


Рис. 4.9. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности

Перечень элементов схемы электрической принципиальной усилителя мощности:

- R1 - СП5-16ВА-0, 5-10 кОм $\pm 10\%$;
- R2 - С2-1-0,125-10 кОм $\pm 5\%$;
- R3 - С2-1-0,125-91 кОм $\pm 5\%$;
- R4 - С2-1-0,125-18 кОм $\pm 5\%$;
- R5 - С2-1-0,125-8, 2 кОм $\pm 5\%$;
- R6 - С2-1-0,125-240 кОм $\pm 5\%$;
- R7 - С2-1-0,125-240 кОм $\pm 5\%$;
- R8 - С2-1-0,125-8, 2 кОм $\pm 5\%$;
- C1 - К10-17Б-М47-4,7пФ $\pm 5\%$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев А.Г., Войшвилло Г.В. Операционные усилители и их применение. – М.: Радио и связь, 1989. – 120 с.
2. Алексеенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
3. Бессарабов Б.Ф., Федюк В.Д., Федюк Д.В. Диоды, тиристоры, транзисторы и микросхемы широкого применения: Справочник. – Воронеж: ИПФ «Воронеж», 1994, - 720 с.
4. Бойко В.И., Гуржий А.Н., Жуйков В.Я., Зоря А.А., Спивак В.М. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. – СПб.: БВХ-Петербург, 2004. – 496 с.: ил.
5. Виноградов Ю.В. Основы электронной и полупроводниковой техники: Учебник для студентов высш. техн. учебн. Заведений. – Изд. 2-е., доп., М.: Энергия, 1982. – 536 с.
6. Волович Г. И. В68 Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. 3-е изд. стер. / Волович Г. И. - М.: Додэка-XXI, 2011. - 528 с.: ил.
7. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 622 с.
8. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника: Учебное пособие. Второе издание перераб. и доп.- М.: Гелиос АРВ, 2004.- 336 с.
9. Лоскутов Е.Д. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Саратов: Вузовское образование, 2016.- 264 с.
10. Малахов В.П. Электронные цепи непрерывного и импульсного действия: Учеб. пособ. Для вузов. – К.; Одесса: Либідь, 1991. – 256 с.
11. Малахов В.П. Схемотехника аналоговых устройств: Учебник для втузов. – Одесса: АстроПринт, 2000. – 212 с.
12. Марше Ж. Операционные усилители и их применение. – М.: Москва, 1976. – 258 с.
13. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых устройств. Учебник для вузов.- 3-е изд.-Горячая линия – Телеком, . 2005.-320 с.
14. Петухов В.М. Транзисторы и их зарубежные аналоги. Справочник. В 4 т. Издание второе, исправленное. – М.: ИП РадиоСофт, 1999. – 688 с., ил.
15. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций.- 6-е изд.- СПб.: КОРОНА-Век, 2009.- 416 с.
16. Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 572 с., ил.
17. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Изд. 7-е., М.: Мир, 2011.- 512 с.
18. Щербаков В.И., Грезов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. – К.: Техника, 1983. – 213 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания предназначены для освоения студентами заочной формы обучения методики расчета усилителя мощности с заданной логарифмической амплитудно-частотной характеристикой в соответствии с индивидуальными вариантами заданий. Приведены теоретические сведения по дисциплине «Схемотехника аналоговых и электропреобразовательных устройств», контрольные задания, рекомендации по изучению дисциплины и примеры расчета основных фрагментов курсовой работы. Рассмотрены вопросы структуры и содержания курсовой работы, а также правила оформления пояснительной записки и чертежей графической части.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	5
1.1. СОСТАВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	5
1.2. РАЗДЕЛЫ, ЧЕРТЕЖИ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ	
КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	5
1.2.1. РАЗДЕЛЫ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ЧЕРТЕЖИ	
ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	5
1.2.2. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ	
ЗАПИСКИ.....	6
1.2.3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТОВЫХ	
ДОКУМЕНТОВ.....	8
2. ПРИМЕР ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ КУРСОВОЙ	
РАБОТЫ.....	8
2.1. ПРИМЕР ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ	8
2.2. ВАРИАНТЫ ФОРМЫ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ	
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (ЛАЧХ) УНЧ.....	9
3. СИНТЕЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ И	
СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ	
РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ	
РАСЧЕТ.....	12
3.1. СИНТЕЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ	
РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА.....	12
3.2. СИНТЕЗ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ	
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО УСТРОЙСТВА.....	13
3.3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	13
4. ПРИМЕРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ	
ФРАГМЕНТОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.....	15
4.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ	
НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (РЕЖИМ РАБОТЫ ОКОНЕЧНЫХ	
ТРАНЗИСТОРОВ: В).....	15
4.1.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА..	15
4.1.2. РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КАСКАДА	
УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ.....	19
4.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ	
НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (РЕЖИМ РАБОТЫ ОКОНЕЧНЫХ	
ТРАНЗИСТОРОВ: А-В).....	22
4.2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА....	22
4.2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО	
КАСКАДА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ.....	28
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	32

**РАЗРАБОТКА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ
С ЗАДАННОЙ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКОЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсовой работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых и электропреобразовательных устройств» для студентов направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов») заочной формы обучения

Составитель
В.В. Горбатенко

Компьютерный набор В.В. Горбатенко

Подписано к изданию _____
Уч.-изд. л. _____

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп.