

МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина

ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра «Сети связи и системы коммуникаций»

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Схемотехника аналоговых электронных устройств»**

Бишкек 2025

УДК 621.314.5

У 91

Рецензенты:

A.K. Кармышаков, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой
«Электроника и инфокоммуникационные технологии»
Кыргызского государственного технического
университета им. И. Рazzакова,

M.Ж. Жумабаев, канд. техн. наук, доцент кафедры
«Электроника и инфокоммуникационные технологии»
Кыргызского государственного технического
университета им. И. Рazzакова,

C.M. Токтогонов, канд. техн. наук, декан факультета
физики и электроники Кыргызского национального
университета им. Жусупа Баласагына

Составители:

M.O. Оконов, канд. техн. наук, доцент,
Базаркул кызы А.

Рекомендовано к изданию Ученым советом
естественно-технического факультета КРСУ им. Б.Н. Ельцина

У 91 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению курсовой работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств» / сост.: М.О. Оконов, Базаркул кызы А. – Бишкек: Издательский дом КРСУ, 2025. – 48 с.: ил. 25.

В учебно-методических указаниях к выполнению курсовой работы по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств» изложены вопросы проектирования основных характеристик и параметров электронных устройств систем телекоммуникаций. Приведена методика расчёта проектируемого усилителя и источника питания. На основе представленных расчетов рекомендуется подбор схем проектируемого устройства.

Учебно-методические указания предназначены для студентов Кыргызско-Российского Славянского университета по направлению подготовки 690300 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Сети связи и системы коммуникации».

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЦЕЛЬ И ПРЕДМЕТ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	6
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	9
Содержание пояснительной записки.....	9
Организация работы студента	11
Подготовка доклада и защита работы.....	12
Приложение 1. Условные графические обозначения.....	15
Приложение 2. Пример: «Проектирование усилителя мощности низкой частоты»	19
Приложение 3. Пример: «Проектирование усилительного устройства»	32
Приложение 4. Пример: «Проектирование источника питания»	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	47

ВВЕДЕНИЕ

Схемотехника (интегральная схемотехника) – раздел электроники, охватывающий исследования и разработку схемотехнических решений, используемых в электронной аппаратуре. Аналоговая электроника охватывает только те электронные средства, которые предназначены для преобразования и обработки информации, изменяющейся по закону непрерывной функции, а цифровая электроника – средства для преобразования и обработки информации, изменяющейся по закону дискретной функции.

Современную электронику можно разделить на три области: *радиоэлектроника* – раздел электроники, связанный с передачей, приемом и обработкой радиосигналов; *энергетическая* (промышленная или силовая), связанная с преобразованием переменного и постоянного токов для нужд электроэнергетики, электротяги, металлургии и пр.; *информационная*, к которой относятся электронные средства, обеспечивающие измерение, контроль и управление различными процессами, включая производство и научные исследования.

Электроника является универсальным и исключительно эффективным средством при решении самых различных проблем в области сбора и преобразования информации, автоматического и автоматизированного управления, выработки и преобразования энергии. Знания в области электроники становятся необходимыми все более широкому кругу специалистов.

В последние годы прогресс в области обработки и передачи информации связан, в основном, с применением микропроцессоров и вычислительной техники. Сегодня компьютеры стали одними из самых массовых электронных устройств. С их помощью решаются самые сложные задачи в любой области деятельности современного общества. В состав современных компьютеров

включаются разнообразные устройства усилительной, преобразовательной, радиоприемной и цифровой техники.

Сфера применения электроники постоянно расширяется. Практически каждая, достаточно сложная техническая система оснащается электронными устройствами. Трудно назвать технологический процесс, управление которым осуществлялось бы без использования электроники. Функции устройств электроники становятся все более разнообразными.

В силу этого возрастает значение дисциплин, направленных на изучение аппаратных средств цифровой техники, которое должно начинаться с изучения элементов и узлов ЭВМ. Широкое использование интегральных микросхем различной степени интеграции требует от инженера по цифровой технике глубоких знаний как цифровой элементной базы, так и основ и принципов построения цифровых узлов и устройств.

ЦЕЛЬ И ПРЕДМЕТ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В соответствии с учебным планом предусмотрено выполнение курсовой работы, которая является составной частью изучения дисциплины «Схемотехника аналоговых электронных устройств».

Основной **целью** выполнения курсовой работы является обучения студентов по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств», а именно:

- закрепление теоретических знаний и практических навыков при изучении предмета;
- формирование умений применять теоретические знания при решении поставленных задач;
- развитие навыков самостоятельной работы с технической литературой;
- приобретение навыков самостоятельного решения технических задач;
- формирование умений использовать при решении задач различных документаций.

Предмет курсовой работы – разработка и расчет электронных устройств различного назначения (усилители мощности низких частот, усилители промежуточной частоты, источники электропитания и т. д.).

Задачи курсовой работы:

- изучение особенностей усилительных устройств и систем электропитания, относящихся к теме курсовой работы;
- анализ и выбор методов решения поставленных задач;
- выбор или разработка модели (структурной, информационной и т. д.), необходимой для достижения цели, а именно: выбор структурной схемы усилителя, источника электропитания или других устройств;

- расчет принципиальной схемы выбранного устройства;
- расчет схемы всех узлов (входного, промежуточного и выходного каскада усилителя, узлов электропитания и других устройств);
- анализ полученных результатов работы.

При выполнении курсовой работы студентом должны быть разработаны и произведены расчеты проектируемого электронного устройства (усилители мощности, генераторы, формирователи импульсных сигналов, преобразователи частоты, инвертора и т. д.). Кроме типовых тем студентам могут быть предложены темы исследовательского характера.

В ходе выполнения курсовой работы студенты *приобретают практический опыт* по:

- выбору структурной схемы создаваемого усилительного устройства или устройства электропитания;
- разработке принципиальной схемы создаваемого устройства;
- расчету ожидаемых качественных показателей проектируемого устройства;
- создания и структурирования собственного программного модуля.

Реализуют умения:

- работы с современными радиоэлектронными устройствами;
- формировать и рассчитать в выбранную схему разрабатываемого устройства;
- разрабатывать структурную схему создаваемого устройства.

Применяют на практике знания:

- основные положения теории схемотехники;
- основные принципы построения узлов электронных устройств;
- методику расчета узлов электронных устройств;
- модели и структуры усилительных устройств;
- технологии разработки и расчета усилительных устройств и систем электропитания.

Курсовая работа студента включают в себя следующие этапы: закрепление темы курсовой работы, составление задания на курсовую работу, сдача курсовой работы руководителю, подготовка к защите курсовой работы.

Закрепление темы курсовой работы включает, сбор и накопление студентом исходной информации по выбранной теме для дальнейшей ее обработки.

На основе накопленных материалов вместе с руководителем составляются задания на курсовую работу.

Сдача курсовой работы руководителю включает:

- обеспечение решения поставленных задач написания;
- оформление аналитической и расчетной части курсовой работ;
- подготовка необходимых разделов и приложений курсовой работы.

Заключительный этап написания курсовой работы и подготовка выступления к её защите.

Закрепление темы курсовой работы осуществляется у руководителя, на основе выбранной студентом темы. Окончательное заключение о целесообразности и актуальности темы курсовой работы дает руководитель курсовой работы. Студент совместно с руководителем разрабатывает задание на курсовую работу, которое включает план курсовой работы, перечень основных литературных источников и др. Курсовая работа сдается в переплетенном виде или в папке. Руководитель назначается на весь период курсовой работы и контролирует соответствие курсовой работы установленным университетом требованиям и оказывает студенту помощь.

По итогам работы студента руководитель ставит оценку.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа оформляется на персональном компьютере.
К ней предъявляются следующие требования:

- общий объем машинописного текста, без приложений должен составлять не менее 20 листов;
- текст курсовой работы должен быть напечатан полуторным межстрочным интервалом на одной стороне стандартного листа белой односортной бумаги формата А4. Шрифт – «Times New Roman», кегль – 14 пунктов – для основного текста и 12 пунктов – для названий рисунков, таблиц, а также текста внутри таблиц;
- заголовки глав оформляются верхним регистром, жирным шрифтом, кегль – 14. Таблицы, рисунки, диаграммы, схемы, графики, фотографии и др. как в тексте курсовой работы, так и в приложении должны быть выполнены на стандартных листах формата А4;
- подписи и пояснения к рисункам должны быть на лицевой стороне;
- курсовая работа не должна содержать помарок, карандашных исправлений, пятен, трещин и загибов;
- все страницы курсовой работы, включая иллюстрации и приложения, нумеруются по порядку от титульного листа до последней страницы без пропусков, повторений, литерных добавлений.

Содержание пояснительной записи

Все решаемые при проектировании вопросы должны быть отражены в пояснительной записке, которая содержит следующие разделы:

1. Введение.
2. Задание.

3. Анализ схемной реализации устройства.
4. Выбор схемной реализации устройства.
5. Расчеты отдельных узлов и устройства в целом.
6. Заключение.
7. Приложения.

Во введении должны быть проанализированы существующие функциональные и структурные схемы усилительных устройств и устройств электропитания в соответствии с заданием на курсовую работу, перечислены наиболее характерные области применения, дан краткий обзор их развития. Указаны перспективные направления совершенствования, отмечена актуальность разработки. Общий объем введения не более трех страниц. При анализе технического задания (ТЗ) необходимо, руководствуясь исходными данными, определить требования к разрабатываемому устройству.

При выборе схемной реализации устройства должны быть всесторонне проанализированы выбранные варианты реализации задания, отработаны схемные решения, выбран и детально проработан вариант, наиболее полно удовлетворяющий требованиям технического задания.

В курсовой работе должны быть подробно описаны алгоритмы расчета отдельных узлов. При выполнении расчетов и моделировании процессов в электронных устройствах может быть рекомендовано использование ЭВМ.

В заключении следует отметить полноту выполнения требований ТЗ, дать общую оценку конструкции в сравнении с аналогами.

После окончания работы над курсовой работой, оформления пояснительной записки составляется аннотация, в которой в сжатой форме (10–15 строк, 3–5 предложений) излагаются содержание и результаты работы, в последней строке аннотации указывают количество таблиц, иллюстраций, названий используемой литературы.

Организация работы студента

Курсовая работа продолжается 8 недель и включает аудиторную и самостоятельную работу. Ориентировочные затраты времени и контрольные сроки выполнения отдельных частей проекта приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сроки выполнения частей курсовой работы

№ п/п	Выполняемая работа	Ориентировочные затраты времени, %	Контрольные сроки выполнения, недели семестра
1	Получение задания		
2	Информационный поиск, подбор и изучение литературы	8–10	1–2
3	Анализ технического задания и разработка требований к изделию, выбор окончательного схемного решения	15–25	2–3
4	Выполнение необходимых расчетов (в том числе на ЭВМ)	15–25	3–5
5	Выполнение чертежей и спецификаций	15–25	5–6
6	Оформление пояснительной записки и сдача работы на проверку	10–15	6–7
7	Подготовка к защите и защита работы	2–5	8

Работа над проектом начинается с подбора литературы по теме, ее изучения, поиска информации о возможных аналогах, для чего могут быть использованы различные справочники, каталоги, научно-технические журналы, патентные источники, интернет-ресурсы. Изучив основную и дополнительную литературу, проанализировав техническое задание, студент подбирает аналоги. Вместе

с преподавателем выбирается окончательный вариант схемного решения. После этого выполняются необходимые расчеты, чертежи и конструкторская документация. Работа завершается оформлением пояснительной записки. Ход работы еженедельно контролируется преподавателем на консультациях.

Консультации в зависимости от этапа работы могут быть групповыми, на которых рассматриваются общие для всех студентов вопросы, решаемые на данном этапе, или индивидуальными. Присутствие каждого студента на всех консультациях обязательно. На консультации студент должен представить преподавателю все подготовленные материалы (черновики соответствующих разделов пояснительной записки, схемы, расчеты и т. д.), отчитаться о выполненной работе, выяснить все возникшие вопросы, уточнить задачи очередного этапа. На каждой консультации преподаватель отмечает ход выполнения работы в соответствующей графе бланка задания. Не позднее 15-й недели все материалы должны быть оформлены, подписаны студентом и сданы преподавателю на проверку. После проверки работа допускается к защите или возвращается на доработку с указанием основных замечаний.

Подготовка доклада и защита работы

Зашиты курсовых работ проводятся в свободное от занятий время в соответствии с графиком, объявленным заранее. В состав комиссии входят преподаватели кафедры (не менее двух), ведущие занятия по дисциплине (лектор, руководитель проектирования, преподаватель, проводивший занятия лабораторного практикума). В процессе защиты студент выступает с сообщением и отвечает на вопросы членов комиссии. В сообщении должна быть названа тема, сформулированы основные требования технического задания, указаны аналоги и возможные варианты решения, кратко обоснован выбор основного, детально разработанного варианта, описан принцип работы, показаны особенности и отличия принятых решений от известных, отмечены достоинства устройства, возможные недостатки, пути их устранения, дальнейшего улучшения

технических и других характеристик изделия. При изложении доклада используется разработанный графический материал, расчеты, результаты моделирования. Работа оценивается на закрытом заседании комиссии после окончания защиты. Комиссия учитывает общий уровень работы, соответствие оформления разработки требованиям стандартов, качество доклада и защиты, самостоятельность выполнения задания, сроки. Результат объявляются после окончания защиты.

Перечень ГОСТов, обязательных при оформлении пояснительной записи и графической части:

1. ГОСТ 10317-79. Платы печатные. Основные размеры.
2. ГОСТ 2.413-72. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготавляемых применением электрического монтажа.
3. ГОСТ 2.417-78. Правила выполнения чертежей печатных плат.
4. ГОСТ 2.702-84. Правила выполнения электрических схем.
5. ГОСТ 2. 708-81. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.
6. ГОСТ 2.709-84. Система обозначений цепей в электрических схемах.
7. ГОСТ 2.710-81. Обозначение буквенно-цифровые в электрических схемах.
8. ГОСТ 2.743-82. Обозначение условные графические в схемах. Элементы цифровой техники.
9. ГОСТ 2.755-87. Устройства коммутационные и контактные соединения.

Чтобы прочитать схему, необходимо знать те условные обозначения, которые использованы при её выполнении. Условные обозначения должны полностью соответствовать требованиям стандартов, поэтому на схемах не дают каких-либо пояснений этих обозначений.

В настоящее время при составлении электрических схем пользуются межгосударственными стандартами ГОСТ 2.721-74, 2.791-74, 2.701-84, 2.730-73, 2.747-68, 2.755-87, 2.756-76, вошедшими в состав ЕСКД.

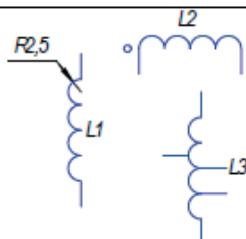
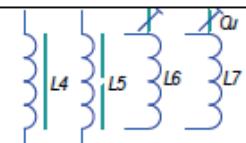
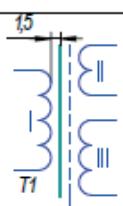
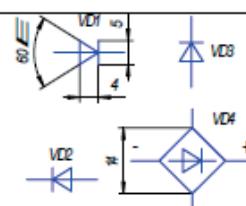
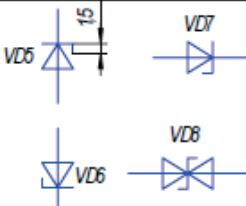
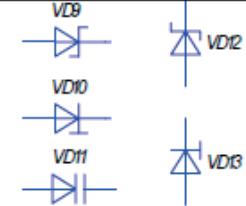
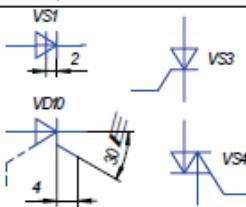
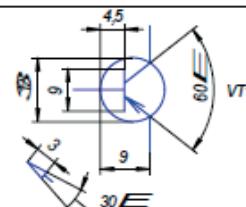
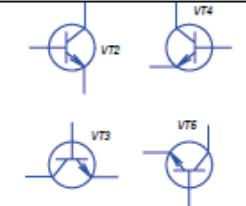
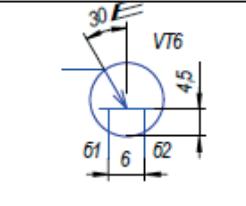
Условные графические обозначения и знаки, предусмотренные этими стандартами, предназначены для составления электрических схем, применяемых в различных областях электроэнергетики, радиоэлектроники, электросвязи, а также для электрических схем устройств автоматизации, вычислительной техники и т. п.

Приложение 1

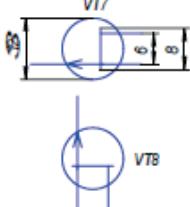
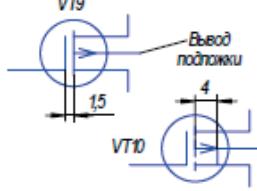
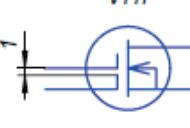
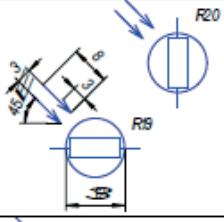
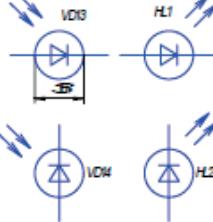
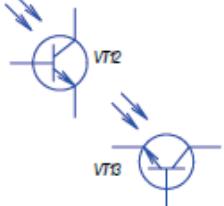
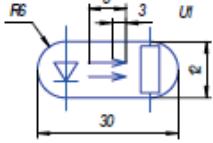
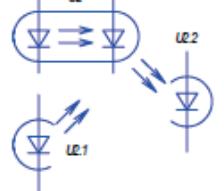
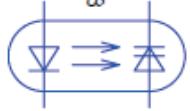
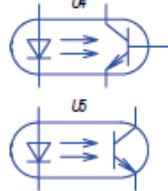
УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Резистор постоянный		Резистор постоянный	
Резистор переменный		Резистор подстроечный	
Резисторы нелинейные: терморезистор и вариатор		Конденсатор постоянной емкости	
Конденсаторы оксидные полярный и неполярный		Конденсатор подстроечный	

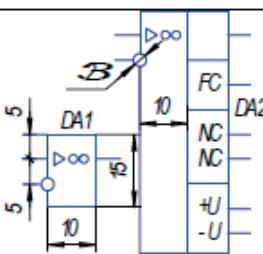
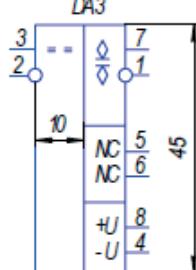
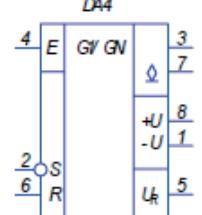
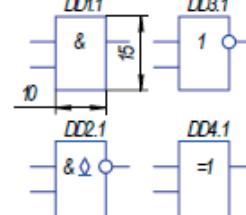
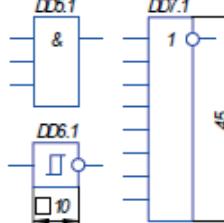
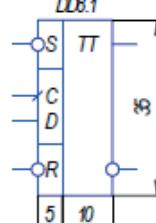
Продолжение приложения 1

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Катушка индуктивности, дроссель (L3 – с отводами)		Катушка дроссель с магнитопроводом (L7 – с медным)	
Трансформатор с тремя обмотками и электростатическим экраном		Диод, однодинный мост	
Стабилитрон (VD8 – двуханодный)		Диод Шоттки (VD9), ограничительный (VD10), варикап (VD11)	
Динистор (VS1), триистор (VS2, VS3), симистор (VS4)		Транзистор p-n-p	
Транзистор p-n-p		Транзистор однопереходный	

Продолжение приложения 1

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Транзистор полевой с <i>p</i> -каналом		Транзистор полевой с изолированным затвором и <i>p</i> -каналом	
Транзистор полевой с изолированным затвором и <i>n</i> -каналом		Фоторезистор	
Фото- и светодиод		Фототранзистор	
Оптрон резисторный		Оптрон диодный	
Оптрон тиристорный		Оптрон транзисторный	

Окончание приложения 1

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Усилитель операционный		Компаратор	
Таймер		Элементы логические	
Элементы логические		D – триггер	

Приложение 2

Пример

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Введение

Одной из наиболее важных операций в электронике является усиление. На базе усилителей построены практически все электронные устройства. Усилители электрических сигналов классифицируются по ряду признаков: характеру усиливаемых сигналов; диапазону частот; назначению; электрическим характеристикам усиливаемого сигнала; типу усилительных (активных) элементов.

Современная электроника предъявляет высокие требования к качественным показателям усилительных устройств. Несмотря на существующее многообразие типов ИМС, рассматриваемых как активные усилительные элементы, использование транзисторов во многих случаях практики является более предпочтительным. Так, например, ИМС не всегда могут выдержать конкуренцию в вопросах обеспечения больших уровней сигнала, малых уровней внутренних шумов, заданных верхних граничных частот, в ряде случаев гибкости получения конфигурации схем с качественными различными показателями и др. Проектирование усилительных устройств на транзисторах (дискретных элементах) является основой схемотехнического синтеза микросхем. Кроме того, сочетание при проектировании тех и других усилительных элементов может привести к более изящным техническим решениям, удовлетворяющим поставленным техническим задачам. Таким образом, проектирование усилителей на транзисторах является основой для успешного проектирования современных усилительных и аналоговых устройств.

Усилители низкой частоты (УНЧ), предназначены для усиления непрерывных периодических сигналов, частотный диапазон которых лежит в пределах от десятков герц до десятков килогерц.

Характерной особенностью УНЧ является то, что отношение верхней усиливаемой частоты к нижней велико и обычно составляет не менее нескольких десятков Ст.

Разрабатываемый усилитель низкой частоты предназначен для усиления электрических сигналов указанного частотного диапазона. Область применения устройства достаточно широка. Оно может быть использовано в качестве узла радиоэлектронной аппаратуры, применяемой в быту или любой другой сфере человеческой деятельности.

На сегодняшний день наиболее распространены три основных варианта построения усилителей мощности:

- 1) на основе одной интегральной микросхемы, реализующей в себе все необходимые каскады для получения требуемой мощности на заданной нагрузке;
- 2) на основе операционного усилителя, реализующего функцию усиления напряжения, и выходных транзисторных каскадов, обеспечивающих получение заданной мощности в нагрузке;
- 3) на основе транзисторных каскадов предварительного усиления и усилителя мощности, выполненных на дискретных элементах.

Обобщенная структурная схема усилителя мощности приведена на рисунке 1.

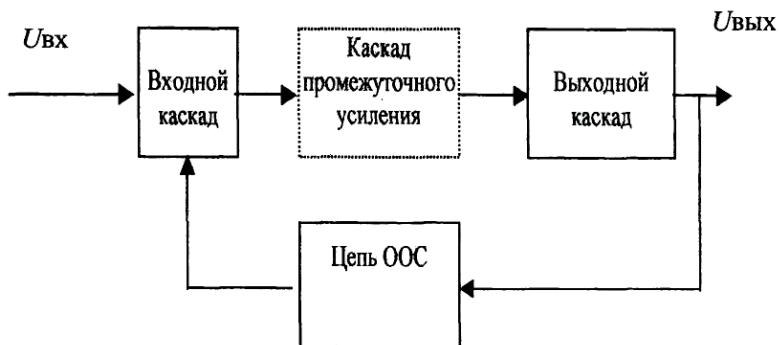


Рисунок 1 – Структурная схема усилителя мощности

Построение выходного каскада

Применение трансформаторов в каскадах усиления мощности существенно увеличивает их массогабаритные и стоимостные показатели, в особенности это относится к интегральным усилительным каскадам, которые широко применяются в измерительно-преобразовательных устройствах. В настоящее время применение трансформаторных каскадов оправдано лишь при необходимости получения значения напряжения на нагрузке, во много раз превышающего величину напряжения питания, и при необходимости обеспечения гальванической развязки между входом усилителя и его нагрузкой. Существует множество различных схем бестрансформаторных каскадов.

Рассмотрим лишь некоторые, позволяющие понять общие принципы их построения. Усилительные каскады, используемые для построения усилителей мощности, бывают двух типов – однотактные и двухтактные. В однотактном усилительном каскаде обе полуволны входного сигнала усиливаются одним транзистором, работающим в линейном режиме или так называемом режиме А (точка А на входной вольтамперной характеристике для схемы ОЭ, рисунок 2).

К достоинствам схемы однотактного каскада относятся её простота и сравнительно малые нелинейные искажения, а к недостаткам – низкая экономичность. Вследствие этого однотактные усилители применяются только при сравнительно небольших мощностях в нагрузке.

В двухтактном усилителе мощности усиление сигнала происходит за два такта. В течение одного полупериода входного сигнала усиление осуществляется одним транзистором, другой транзистор в течение этого полупериода или его части закрыт. При следующем полупериоде входного сигнала усиление осуществляется вторым транзистором, а первый при этом закрыт. Такая поочередная работа транзисторов позволяет использовать экономичные режимы В и АВ (см. рисунок 2). В режиме В точка покоя находится в начале вольтамперной характеристики, при напряжении смещения, равном

нулю. Нелинейность начального участка характеристики вызывает нелинейные искажения типа «ступенька». Для уменьшения нелинейных искажений применяется режим АВ, при котором рабочая точка располагается в начале линейного участка характеристики. Различают схемы с питанием от одного источника и с питанием от двух источников.

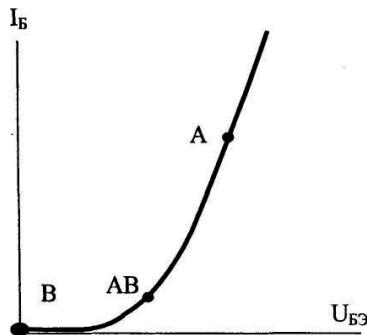


Рисунок 2 – Режимы работы усилителя мощности

Выходные каскады усилителей мощности могут выполнятьсь на транзисторах одного типа проводимости (при этом на входе должны быть противофазные сигналы), но чаще выполняются на комплементарных парах транзисторов.

Выходные каскады на комплементарных парах транзисторов

На рисунке 3(а) изображена схема каскада ОК с питанием от двух источников, а на рисунке 3(б) – с питанием от одного источника. При использовании в этих схемах комплементарных пар транзисторов типов *n-p-n* и *p-n-p* отпадает необходимость в подаче двух противофазных входных сигналов. При положительной полуволне сигнала открыт транзистор *VT1* и закрыт *VT2*, при отрицательной полуволне, наоборот, открыт *VT2* и закрыт *VT1*. Схемы работают в режиме класса В, поэтому имеют место нелинейные искажения типа «ступеньки», коэффициент усиления каскада ОК по напряжению всегда меньше 1.

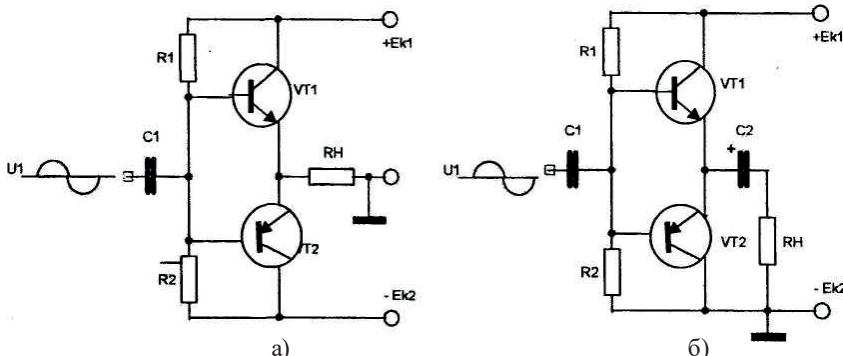


Рисунок 3 – Выходные каскады усилителей мощности на комплементарных парах транзисторов

Выходные каскады с большим выходным током

Большинство мощных выходных транзисторов имеет сравнительно небольшой коэффициент усиления по току ($\beta < 80$). Поэтому однокаскадные эмиттерные повторители могут работать при выходных токах до нескольких сот миллиампер.

Большие коэффициенты усиления по току можно получить, включив выходные транзисторы по схеме Дарлингтона (рисунки 4, 5). На рисунке 4 выходной каскад построен на составных транзисторах (обычная схема Дарлингтона на транзисторах одного типа проводимости), включенных по схеме ОК, причем использован режим АВ (комплементарная схема). Для создания смещения включены диоды $VD1$ и $VD2$; использование их позволяет осуществить температурную компенсацию.

Общий коэффициент усиления увеличивается: $(\beta = \beta_1 * \beta_2)$, соответственно увеличивается входное сопротивление каскада и уменьшается выходное сопротивление. Заметим, что современные мощные транзисторы могут иметь $\beta = 700\dots1000$, так что необходимость включения составных транзисторов может отпасть.

На рисунке 5 выходной эмиттерный повторитель построен по квазикомплементарной схеме Дарлингтона. $VT1$ и $VT3$ – составной повторитель, дающий ток положительной полуволны

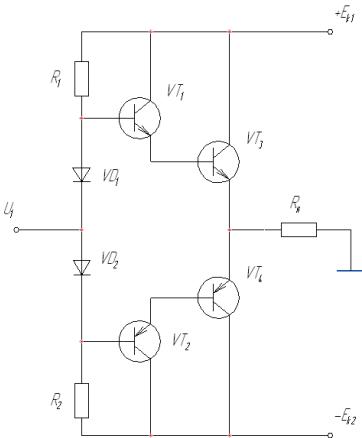


Рисунок 4 – Выходной каскад на комплементарных составных транзисторах

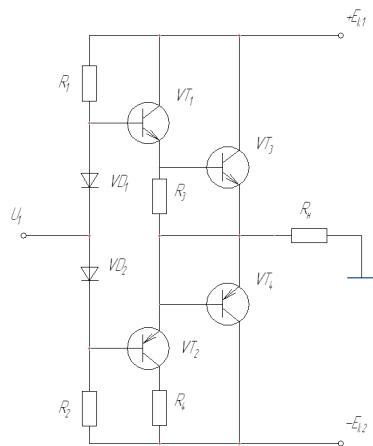


Рисунок 5 – Выходной каскад на квазикомплементарных составных транзисторах

выходного сигнала, а отрицательную полуволну формирует схема на транзисторах $VT2$ и $VT4$, которая по своим «внешним» параметрам полностью аналогична составному транзистору на $VT1$ и $VT3$, но имеет свойства $p-n-p$ транзистора.

Резисторы $R3$ и $R4$ необходимы для отвода обратных коллекторных токов мощных выходных транзисторов $VT3$ и $VT4$. Квазикомплементарная схема лучше симметрируется, так как на выходе включены мощные транзисторы одного типа.

Современные усилители низкой частоты выполняются преимущественно на биполярных и полевых транзисторах в дискретном или интегральном исполнении, причем усилители в микроисполнении отличаются от своих дискретных аналогов, главным образом, конструктивно-техническими особенностями.

Выбираем схему усилителя с двухтактным выходным каскадом на транзисторах с большим коэффициентом усиления, включенных по схеме ОК (рисунок 6). Входной каскад построен на ОУ, что обеспечивает малый дрейф нуля. Входной сигнал подается

на неинвертирующий вход ОУ; отрицательная обратная связь (ООС) охватывает два каскада. Сигнал ООС (на R_3 , R_1) подается на инвертирующий вход.

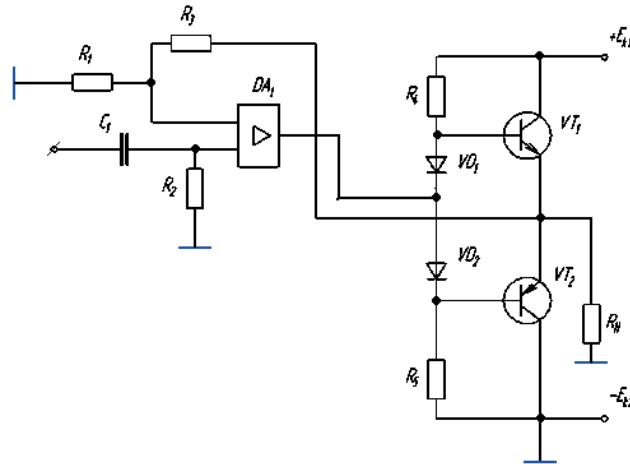


Рисунок 6 – Усилитель мощности

Для подбора мощных транзисторов и их применения в качестве выходного каскада необходимо рассчитать следующие параметры:

$$U_{H\max} = \sqrt{2 * P_H * R_H}; \quad (1)$$

$$I_{H\max} = \frac{U_{H\max}}{R_H}, \quad (2)$$

где $U_{H\max}$ – амплитудное значение напряжения на сопротивлении нагрузки R_H .

Напряжение источника питания одной половины выходного каскада при биполярном питании или половина напряжения общего источника питания определяется исходя из амплитуды выходного сигнала, при этом величина напряжения питания Е выбирается минимум на 2...5 В больше $U_{H\max}$:

$$E \geq U_{H\max} + (2...5). \quad (3)$$

Рассчитали необходимые предельные параметры транзисторов VT1 и VT2:

$I_{H\max}$ – максимальный ток, протекающий через нагрузку, приблизительно равен коллекторному току мощного выходного транзистора;

$I_{H\max} = I_k$, для надежности выбрали с запасом $I_{k\text{доп}} = U_{k\text{э}\max}$ – максимальное напряжение коллектор-эмиттер выходного транзистора составляет $E + U_{H\max}$, P_{\max} – максимальная мощность, рассеиваемая одним транзистором выходного каскада.

$$P_{\text{вых}\max} = \frac{E^2}{\pi^2 * R_H}. \quad (4)$$

На основании рассчитанных выше значений из справочной литературы произвели выбор мощных транзисторов выходного каскада, который обычно осуществляется по следующим параметрам:

- по максимальному току коллектора – $I_{k\text{доп}}$;
- по максимально допустимому напряжению между коллектором и эмиттером транзистора $U_{k\text{э}\text{доп}}$;
- по максимальной мощности, рассеиваемой на коллекторе – $P_{k\text{доп}}$;
- по коэффициенту передачи тока в схеме с общим эмиттером – $h_{21s} (\beta)$;
- по предельной (границной) частоте – h_{rp} .

Подобрать транзистор по справочнику с параметрами: $h_{rp} = \text{МГц}$; $I_{k\text{доп}} = A$; $U_{k\text{э}\text{доп}} = B$; $P_{k\text{доп}} = \text{Вт}$; $\beta_{\min} = .$

Транзисторы должны образовывать комплементарную пару, то есть иметь одинаковые параметры.

Максимальная величина базового тока транзисторов выходного каскада, необходимая для обеспечения заданной мощности в нагрузке, определяется соотношением

$$I_{b\max} = \frac{I_{k\max}}{\beta_{\min}},$$

где β_{\min} – минимальная величина коэффициента передачи по току.

По рассчитанному значению $I_{b\max}$, используя входную характеристику примененного транзистора, определили максимальное значение напряжения перехода баз – эмиттер $U_{b\text{э}\text{доп}} = 1\text{В}$. Отсюда можно определить максимальное напряжение на входе транзистора

конечного каскада, необходимое для обеспечения заданной мощности в нагрузке:

$$I_{ex\max} = U_{\delta\vartheta\max} + I_{\kappa\max} * R_H$$

сопротивление оконечного транзисторного каскада в этом случае можно определить по выражению

$$R_{exVT1} \approx \beta_{minVT1} * R_H . \quad (7)$$

Зададим ток коллектора покоя выходного каскада I_{kn} , тогда ток базы покоя VT1 равен

$$I_{\delta n} = \frac{I_{kn}}{\beta} . \quad (8)$$

По входным характеристикам определяем необходимое значение $U_{\delta\vartheta n}$.

Для уменьшения нелинейных переходных искажений и температурной стабилизации в плечи промежуточного каскада рекомендуется вводить диоды, разность потенциалов на которых образует напряжение смещения U_{cm} . В данном случае применено 4 диода. Зададим ток делителя, протекающий через диоды:

$$I_{дел} = (2-10) * I_{\delta n} . \quad (9)$$

Определили по вольтамперной характеристике диода значение падения напряжения на одном диоде U_{np} .

Таким образом, получив параметры напряжения смещения и тока диодов, из справочной литературы выбрали тип диодов по следующим параметрам:

- по величине прямого напряжения U_{np} ;
- по величине прямого тока I_{np} ;
- по максимальной частоте f_{max} .

Подобрали диод с характеристиками: U_{np} , I_{np} и f_{max} .

Величина полного входного сопротивления оконечного усиительного каскада определяется параллельным соединением $R_{вх VT1}$ и сопротивления делителя $R_{дел}$ (R_4 или R_5 на рисунке 5). Величина последнего рассчитывается по формуле

$$R_4 = R_5 = ((E_n - U_{\delta\vartheta}) / I \quad (10)$$

$$R_вх(полн) = R_вхVT1 \| R_4 . \quad (11)$$

Необходимо отметить, что входное сопротивление оконечного каскада является нагрузкой для каскада усилителя напряжения, выполняемого на основе операционных усилителей, имеющих четко регламентированные значения минимально допустимых величин сопротивлений нагрузки. Так, для большинства операционных усилителей общего применения, минимальное сопротивление нагрузки должно быть ≥ 2 кОм.

Выбрали R_4 (стандартный ряд Е24).

Расчет входного каскада

Входной каскад – каскад усиления напряжения на операционных усилителях. Для выбора и расчета усилительного каскада на операционных усилителях (ОУ) необходимо учесть несколько факторов:

- полное входное сопротивление выходного каскада усилителя должно превосходить минимальное сопротивление нагрузки ОУ, данное в справочнике ($R_{вх} > R_{н_{OY}}$);
- требуемое максимальное входное напряжение оконечного каскада усилителя мощности с учетом обратной связи должно быть меньше максимального выходного напряжения ОУ, данного в справочнике ($U_{вхmax} < U_{вых_{OY}}$);
- на верхней частоте усиления f_v ОУ должен обеспечивать расчетный коэффициент усиления;
- температурные и другие требования задания должны удовлетворяться.

На основании, вышеизложенного из справочной литературы выбирается ОУ _____ с подходящими параметрами:

- коэффициент усиления по напряжению $K_{oy} = \text{_____}$;
- максимальное значение выходного напряжения $U_{вых} = \text{____} B$;
- напряжение смещения $U_{cm} = \text{____} B$;
- входное сопротивление _____ МОм;
- частота единичного усиления $f_1 = \text{____} \text{МГц}$;
- напряжение источников питания $U_n = \pm \text{____}$.

Произвели расчет требуемого коэффициента усиления всего усилителя мощности:

$$k_{U_{oc}} = \frac{U_{H\max}}{U_{RX\max}} : eU_{H\max} - \text{максимальное напряжение на нагрузке};$$

$U_{ex\max}$ – амплитудное значение входного сигнала (по заданию).

Питание ОУ следует осуществлять через стабилизатор напряжения, $E_{\text{ maxпит.ОУ}} = \pm ___ \text{ В}$.

Расчет цепи отрицательной обратной связи

На рисунке 7 схематично представлен входной каскад на ОУ, охваченном ООС. Для его расчета возможно применение идеализированного выражения:

$$K_{U_{oc}} = 1 + \frac{R_3}{R_1}. \quad (12)$$

Задав номинал резистора $R_1 = 1 \text{ кОм}$, из данного выражения определили R_3 .

$$R_3 = (K_{U_{oc}} - 1) * R_1. \quad (13)$$

Выбрали резисторы из стандартного ряда Е24: R_1, R_3 .

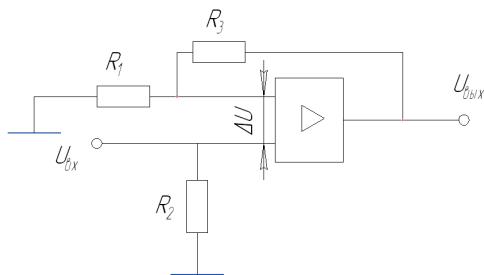


Рисунок 7 – Схема входного каскада на ОУ

Расчет разделительного конденсатора C_1 и резистора R_2

Для того, чтобы не пропустить каскады усилителя постоянное напряжение, включается разделительный конденсатор C_1 .

Емкость разделительного конденсатора определили по формуле

$$C \geq \frac{1}{\omega_n \cdot R \cdot \sqrt{M_n^2 - 1}}, \quad (14)$$

где ω_n – нижняя круговая частота ($\omega_n = 2\pi f_n$);

R – сопротивление перезаряда;

M_n – коэффициент частотных искажений, обусловленный влиянием разделительного конденсатора.

По условию курсовой работы нам задан коэффициент частотных искажений M_n .

Величина сопротивления перезаряда для первого конденсатора определяется сопротивлением генератора и параллельным соединением резистора R_2 и входного сопротивления операционного усилителя.

Определили величину резистора R_2 :

$$R_2 = R_1 \parallel R_3 = \frac{R_1 * R_3}{R_1 + R_3}. \quad (15)$$

Определили сопротивление перезаряда для первого конденсатора:

$$R = ((R_2 R_{exOV}) + R_e). \quad (16)$$

R_e – сопротивление источника сигнала;

R_{ex} – полное входное сопротивление каскада ($R_2 \parallel R_{exOV}$).

$$R = ((R_2 R_{exOV}) + R_F). \quad (17)$$

Определили емкость первого конденсатора:

$$C_1 \geq .$$

По рассчитанным параметрам подобрали конденсатор емкостью C_1

Расчет КПД усилителя

Коэффициент полезного действия усилителя определяется, в основном, мощностью, отбираемой от источника питания выходным каскадом:

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{\Sigma}} \cdot 100\%, \quad (18)$$

где P_{Σ} – мощность, потребляемая всем усилителем.

Определили мощность, потребляемую всем усилителем:

$$P_{\Sigma} = \frac{2E_{\pi} * U_{H\ max}}{\pi * R_H} .$$

Таким образом, полученный КПД усилителя мощности удовлетворяет условию задания, следовательно, расчет и подбор отдельных параметров схемы усилителя выполнен, верно.

Приложение 3

Пример

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Структурная схема усилителя

Исходными данными для разработки усилителя являются: ЭДС источника сигнала – E_g ; его внутреннее сопротивление – R_g ; сопротивление нагрузки усилителя – R_H ; мощность в нагрузке – P_H ; наличие в составе усилительного устройства фильтра заданного порядка и аппроксимации с требуемыми частотными характеристиками.

Входной каскад (ВК) предназначен для согласования источника сигнала с усилительным устройством. Усилитель напряжения (УН) усиливает входной сигнал до необходимого уровня. Активный фильтр формирует заданную частотную характеристику устройства. Усилитель мощности служит для создания в нагрузке требуемой мощности усиливаемого сигнала (рисунок 1).

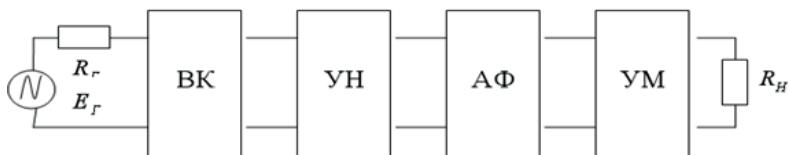


Рисунок 1 – Структурная схема усилительного устройства

Определение основных параметров усилителя

Входное сопротивление усилителя выбирают так, чтобы $R_{ex} \gg R_g$.

Практически $P_{BX} = 0,1 * 100$.

Действующее значение напряжения:

$$U_H = \sqrt{P_H * R_H}. \quad (1)$$

Общий коэффициент усиления:

$$K_U = \frac{U_H}{E_F}. \quad (2)$$

Выбор схемы входного каскада

Для выбора схемы входного каскада необходимо учитывать два основных фактора: требуемое входное сопротивление и частотную характеристику всего усилителя, которая зависит от фильтра. Если задан фильтр низких частот, $R_F \leq 10 \text{ k}\Omega$ усилительное устройство должно представлять собой усилитель постоянного тока и не содержать разделяющих конденсаторов.

В этом случае входной каскад выполняется только на операционном усилителе. При возможно использование инвертирующего усилителя.

$$R_F = 10 \text{ k}\Omega.$$

Так как, \Rightarrow выбираем инвертирующий операционный усилитель (ОУ) (рисунок 2).

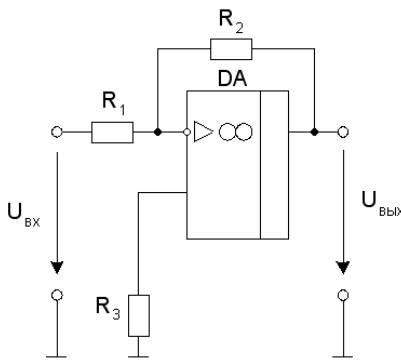


Рисунок 2 – Инвертирующий усилитель напряжения на ОУ

Выбор и расчёт усилителя напряжения

Каскад УН строим на базе инвертирующего усилителя. Коэффициент усиления которого

$$K_u = \frac{R_2}{R_1}, \quad (3)$$

где K_u – коэффициент усиления УН.

Входное сопротивление каскада:

$R_{ex} = R_1$ (причем в R_1 входит также сопротивление источника сигнала).

Для уменьшения температуры дрейфа каскадную величину резистора R_3 выбираем равной

$$R_3 = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2). \quad (4)$$

Выбор и расчёт активного фильтра

Фильтр – это электрическое устройство, предназначенное для передачи сигналов в определенной области частот.

В зависимости от рабочей полосы частот фильтры разделяют на:

- фильтры низких частот (ФНЧ);
- фильтры верхних частот (ФВЧ);
- пропускающие полосовые фильтры (ППФ);
- заграждающие полосовые фильтры (режекторные).

Пропускающие полосовые фильтры – пропускают все сигналы, с частотами от f_n до f_e , здесь $\Delta f = f_e - f_n$ – полоса пропускания.

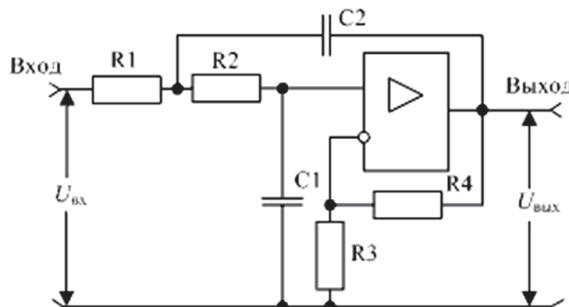


Рисунок 3 – Схема активного фильтра Саллена – Ки

Рассчитаем значения схемы Саллена – Ки (рисунок 3) по следующим формулам:

$$C_1 = \frac{10^{-5}}{f_c}; \quad (5)$$

$$C_2 \leq \left(A - 1 + \frac{b^2}{4c} \right) C_1; \quad (6)$$

$$R_1 = \frac{1}{\pi * f_c * C_1 * \left(b + \sqrt{b^2 + 4 * c(A-1) - 4 * c \left(\frac{C_1}{C_2} \right)} \right)}; \quad (7)$$

$$R_2 = \frac{1}{c * C_1 * C_2 * R_1 * (2 * \pi * f_c)^2}. \quad (8)$$

ФН Ч 4 порядка 1 звено:

$$R_3 = \frac{A * (R_1 + R_2)}{A - 1} \quad (9)$$

$$c = 9,1401;$$

$$b = 5,7927.$$

$$1 \text{ звено: } A = 4.$$

Рассчитаем значения для 2-го последовательно соединённого звена.

Определяем значения C_1, C_2, R_2, R_3 и R_4 .

Расчет проводится по тем же формулам. Коэффициенты b и c берём из таблицы 1, $A = 4$.

Выбор схемы и расчёт усилителя мощности (рисунок 4).

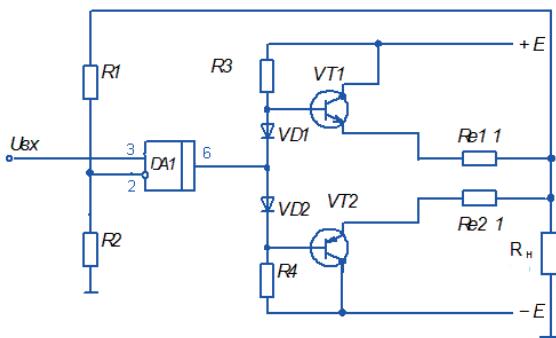


Рисунок 4 – Усилитель мощности с ОУ

Расчетная мощность больше номинальной на величину потерь в эмиттерных резисторах $P_{расч} = 1,1 * P_H$.

Напряжение источника питания

$$U_{ИП} = \sqrt{2 * P_{расч} * R_H} + U_{кэ нас}, \quad (10)$$

где $U_{кэ нас} = 5B$ для кремниевых транзисторов.

Амплитуда тока коллектора транзисторов оконечного каскада

$$I_{K MAKС} = \sqrt{2 * \frac{P_{расч}}{R_H}}. \quad (11)$$

Среднее значение тока, потребляемого от источника питания

$$I_{номп} = \frac{I_{МАКС}}{\pi}. \quad (12)$$

Выбор оконечных транзисторов проводим с учетом условий:

$$U_{кэ don} > 1,2 U_{нн}; \quad (13)$$

$$I_{к don} > 1,3 * I_{к макс}; \quad (14)$$

$$P_{кэ don} > P_{к макс}; \quad (15)$$

$$f_c > (2 \div 4) f_c. \quad (16)$$

Возьмём пару транзисторов серии по значению $I_{к max}$.

Характеристики транзисторов серии _____, _____:

Ток базы равен

$$I_\delta = \frac{I_{к макс}}{\beta}. \quad (17)$$

Сопротивление делителя

$$R_\delta = \frac{U_{un}}{I_\delta * 2}. \quad (18)$$

Сопротивление эмиттера

$$R_e = (0,5 \div 0,1) * R_n. \quad (19)$$

Ток нагрузки

$$I_H = \frac{U_H}{R_H}. \quad (19)$$

По току нагрузки выбираем операционный усилитель (рисунок 5):

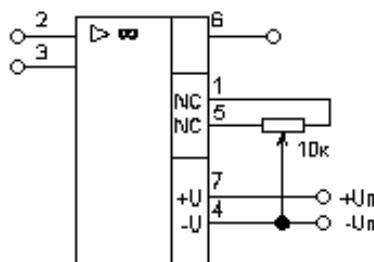


Рисунок 5 – Операционный усилитель

Выход: в результате расчёта мы определили основные параметры усиливательной части устройства U_{ip} , I_{potr} .

Приложение 4

Пример

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Обоснование выбора схемы блока питания

Источник питания состоит из силового трансформатора, выпрямителей, сглаживающих фильтров и, во многих случаях, стабилизатора напряжения или тока. Расчёт и проектирование источника питания ведут, начиная с конечного элемента – стабилизатора или выпрямителя с фильтром, а затем рассчитываем трансформатор (рисунок 1).

Расчёт и проектирование источника питания для разрабатываемого узла следует начинать с определения основных напряжений и соответствующих токов, которые должен вырабатывать блок. Эти данные из предыдущих разделов курсовой работы.

Токи, потребляемые операционным усилителем, берут из справочника. Ток, потребляемый усилителем мощности, берут из расчёта усилителя мощности.

При этом необходимо определить, какие из напряжений должны стабилизироваться. Обычно стабилизируют питание транзисторных усилительных каскадов, собранных на дискретных элементах, так как они обладают температурой нестабильности. Для питания же операционного усилителя достаточно использовать простые параметрические стабилизаторы, но при этом нагружать их более чем тремя операционными усилителями, без развязывающих фильтров нельзя, поскольку может возникнуть самовозбуждение схемы. Выходные каскады усилителей мощности собраны по двухконтактной схеме, могут питаться нестабилизированным напряжением.

В современных блоках питания широко применяются стабилизаторы напряжения на интегральных микросхемах, обеспечивающие большие рабочие токи и высокий коэффициент стабилизации при минимуме дополнительных навесных элементов. Поэтому

в курсовой работе желательно использовать интегральные стабилизаторы.

Структурная схема блока питания



Рисунок 1– Структурная схема блока питания

Расчёт и выбор стабилизатора

Исходные данные для расчета стабилизатора напряжения:
номинальное выходное напряжение – $U_{\text{вых}}, B$;
ток нагрузки – $I_{\text{вых}}, A$;
относительное отклонение напряжения сети в сторону понижения a_{\min} ;
 $a_{\min} = e$ – напряжение сети, обычно a_{\min} принимают равным (0.1) $a_{\min} = 0,1(10\%)$.

Поэтому исходя из $U_{\text{вых}}$ и $I_{\text{вых}}$ выбираем стабилизатор.

Выбираем для операционного усилителя стабилизатор К142ЕН2 с параметрами

$$K_H U = 0,3\%; r_H i = 0,5\%; U_{\text{под min}} = 4B; U_{\text{вх}} = 9 \dots 20 \text{ В}; U_{\text{вых}} = 3 \dots 12B; I_{\text{пот}} = 4mA.$$

Определим минимальное входное напряжение стабилизатора:

$$U_{\text{вх min}} = U_{\text{вых}} + U_{\text{над min}}; \quad (1)$$

$U_{\text{над min}}$ – минимальное допустимое падение напряжение между входным и выходным напряжением трансформатора.

С учётом возможного уменьшения напряжения в сети

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх min}}}{1 - a_m} \quad (2)$$

относительное отклонение напряжения сети в сторону понижения.

Расчёт выпрямителя с фильтром

Цель расчёта выпрямителя:

- определить переменные токи I_n ;
- напряжения U_n всех обмоток трансформатора;
- диаметры проводов: проводов d_n обмоток число витков Wn ;
- мощность P_{tmp} ;
- выбрать выпрямительные диоды;
- найти ёмкость конденсаторов фильтров.

В большинстве случаев в выпрямителях применяют простейшие фильтры в виде конденсаторов большой ёмкости.

Исходными данными для расчёта источника питания являются:

- U_0, B – номинальное выпрямительное напряжение (в случае использования стабилизатора оно равно его входному напряжению);
- I_0, A – ток нагрузки ($I_0 = I_{\text{вых}} + I_{\text{пот}}$);
- $U1, B$ – номинальное напряжение сети;
- $fC, \text{Гц}$ – частота сети;
- Kn – допустимый коэффициент пульсации ($Kn = U01/U0$, где $U01$ – амплитуда первой гармоники).

Расчёт выпрямителя

Выбираем вариант схемы выпрямителя:

1. Берем мостовую схему рисунка 2 по методическому пособию;

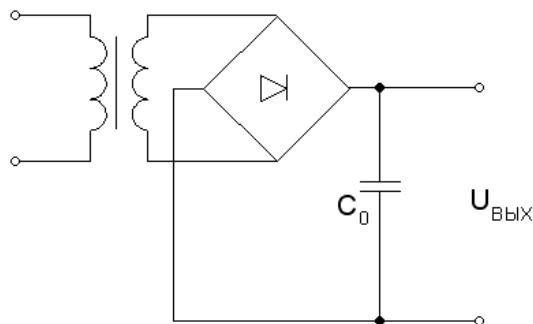


Рисунок 2 – Мостовая схема выпрямителя

2. Определяем сопротивление трансформатора r_{mp} , вентиля, и по их значениям находим сопротивление фазы выпрямителя r_B :

$$r_-(mp) = K^1 * (U_o * J) / , \quad (3)$$

где J – плотность тока в обмотках трансформатора (для трансформаторов до 100 Вт $J = 3...5 \text{ A/mm}^2$);

B – магнитная индукция в сердечнике (принимаем $B = 1,1...1,3$);
 K^1 – расчётный коэффициент равный 2...2,3.

3. Число фаз выпрямителя будет равно $m = 2$.
4. Среднее значение тока через вентиль $I_{oe} = I_o / 2$.
5. Амплитуда обратного напряжения на вентиле

$$U_{obp} = 1,41 \cdot U_o . \quad (4)$$

По среднему току через вентиль I_{oe} и амплитуде обратного напряжения выбираем диоды. Ток I_{oe} должен быть меньше максимального допустимого среднего тока диода, указанного в справочнике.

Выбираем диод Д2Б с параметрами

$$U_{obp} \text{ и } I_{np}.$$

Выбрав диоды, находим по справочнику прямое падение напряжения U_{np} и по нему определяем сопротивление вентиля r_l :

$$r_l = U_{np} / (3 * I_{oe}) . \quad (5)$$

6. Внутреннее сопротивление выпрямителя:

$$R_B = 2 * r_i + r_{mp} . \quad (6)$$

7. Определяем по формуле коэффициент A :

$$A = (\pi * I_o * r_B) / m * U_o .$$

По графикам (рисунок 3) находим вспомогательные коэффициенты

$$F_o = ___ ;$$

$$B_o = ___ ;$$

$$D_o = ___ ;$$

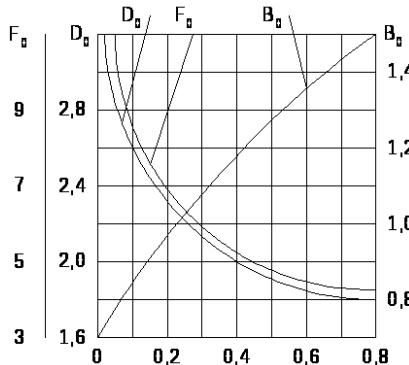


Рисунок 3 – График определения вспомогательных коэффициентов

8. Напряжение на вторичных обмотках

$$U_2 = B_o * U_o. \quad (7)$$

9. Ток вторичной обмотки

$$I_2 = (D_o * I_o) / 1,41. \quad (8)$$

10. Действующее значение тока через вентиль

$$I_B = (D_o * I_o) / 2. \quad (9)$$

11. Габаритная мощность трансформатора

$$P_{раб} = 1,5 * P_o, \quad (10)$$

где $P_o = U_o * I_o$;

а) $P_o = Bt$;

б) $P_{раб} = Bt$.

Составляющая тока первичной обмотки трансформатора:

$$I_1 = n * I_2, \quad (12)$$

где n – коэффициент трансформации $n = U_2 / U_1$;

U_1 – номинальное напряжение сети.

12. Определим ёмкость фильтра по формуле

$$C = \frac{25 * 10^4 * A}{m * r_e * f_c * K_n}; \quad (13)$$

Расчёт силового трансформатора

Заданными величинами при расчёте трансформатора являются напряжение всех обмоток, токи обмоток, и мощность трансформатора.

Дано:

$$U_1 = B;$$

$$U_2 = B;$$

$$P_{\text{раб}} = Bt;$$

$$I_1 = A;$$

$$I_2 = A$$

Расчёт.

1. Определим составляющие, вызванные токами вторичных обмоток трансформатора

$$I_1(n) = I_n * U_n / U_1. \quad (15)$$

2. Определяем габаритную мощность трансформатора

$$P_{mp} = \frac{P_{\text{раб}} + U_1 I_1 * U_2 * I_2}{\eta} \quad (16)$$

η – КПД, значение которого мы определим по графику; принимаем $\eta = 0,75$;

3. По габаритной мощности трансформатора выбираем магнитопровод.

Сечение стержня сердечника

$$Sc = \sqrt{P_{TP}}, \text{ см}^2; \quad (17)$$

Из условия $S_c = a * c$, $c = (1\dots 2) * a$, где a – ширина стержня магнитопровода, c – толщина магнитопровода, находим ориентировочное значение ширины стержня

$$a = \sqrt{\frac{S_c}{1-2}}. \quad (18)$$

Находим произведение сечения стержня сердечника на площадь окна

$$Sc * Sok = \frac{P_{mp} * 10^2}{2,22 * fc * B * J * Km * Kc * \eta}, \quad (19)$$

где B – магнитная индукция для броневых трансформаторов $B = 1,3$;

J – плотность тока в обмотках ($J = 3 \frac{A}{mm^2}$);

Kc – коэффициент заполнения окна медью принимаем равным 0,25;

Kc – коэффициент заполнения сталью площади стержня магнитопровода принимаем равным 0,95.

Выбираем магнитопровод ШЛ20*20, с параметрами (рисунок 4):

$$a = \underline{\hspace{2cm}} \text{мм};$$

$$b = \underline{\hspace{2cm}} \text{мм};$$

$$c = \underline{\hspace{2cm}} \text{мм};$$

$$h = \underline{\hspace{2cm}} \text{мм}.$$

$$Sc =$$

$$Sok =$$

$$Sc * Sok = \underline{\hspace{2cm}}$$

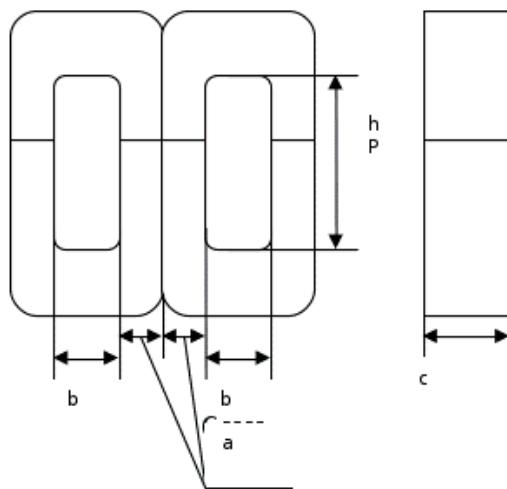


Рисунок 4 – Ленточный магнитопровод

4. Определяем число витков в обмотках:

$$\Delta U_1 = 6,5 \%$$

$$\Delta U_2 = 11 \%$$

Для первичной

$$W_1 \frac{U_1 * \left(1 - \frac{\Delta U_1}{100}\right) * 10^4}{4,44 * f_c * B * S_c} \quad (20)$$

Для вторичной

$$W_2 \frac{U_2 * \left(1 - \frac{\Delta U_2}{100}\right) * 10^4}{4,44 * f_c * B * S_c} \quad (21)$$

5. Определим диаметры проводов обмоток трансформатора без учёта толщины изоляции по действующему значению тока в обмотке n и заданной плотности тока J (рисунок 5):

$$d_1 = \text{мм};$$

$$d_2 = \text{мм}.$$

Полученные значения диаметров округляем до ближайших стандартных и выбираем марку обмоточных проводов, указывая его диаметр с изоляцией:

$$d_1 = \text{ } (\text{ПЭВ-1 диаметр с изоляцией } D = \text{ });$$

$$d_2 = (\text{ПЭВ-1 диаметр с изоляцией } D).$$

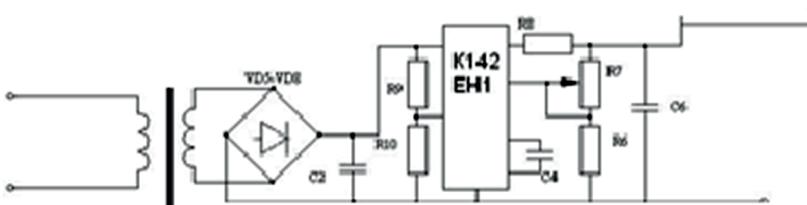


Рисунок 5 – Схема блока питания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате на примере, представленном в методических указаниях, приведена методика расчета расчёта проектируемого усилителя, источника питания. На основе представленных расчетов подбирается схема устройства. Применяется в устройствах «Цифровые элементы: стабилизаторы напряжения, операционные усилители, интегральные микросхемы».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аксенов А.И.* Отечественные полупроводниковые приборы. Справочное пособие: Транзисторы биполярные и полевые, диоды, варикапы, стабилитроны и стабисторы, тиристоры, оптоэлектронные приборы / А.И. Аксенов, А.В. Нефедов. – М.: «Солон-Р», 2000.
2. *Гитцевич А.Б.* Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: справочник / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков [и др.]; под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1988.
3. *Шакирова Р.Х.* Проектирование электронных устройств: учебное пособие / Р.Х. Шакирова, Т.Ю. Гатиатулина, О.Е. Данилин. – Уфа: УГАТУ, 2007.
4. *Гершунский Б.С.* Справочник по расчету электронных схем / Б.С. Гершунский. – Киев: Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 240 с.
5. *Гусев В.Г.* Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2004.
6. *Лурье М.С.* Промышленная электроника: аналоговые устройства промышленной электроники / М.С. Лурье. – Красноярск, 1996. – 175 с.

Составители:
Манас Оконович Оконов,
Базаркул кызы А.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Схемотехника аналоговых электронных устройств»

Редактор *Н.В. Шумкина*
Компьютерная верстка *А.Ш. Мельниковой*

Подписано в печать 23.12.2025.
Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Печать офсетная.
Объем 3,0 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 49.

Издательский дом КРСУ
720048, Бишкек, ул. Анкара, 24к.