

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте

Факультет техники и технологии

Кафедра электрооборудования и автоматизации производственных процессов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Ю.С. Сергеев
_____ 2020 г.

РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР

Консультант

Безопасность жизнедеятельности

доцент

_____ С.Н. Трофимова
_____ 2020 г.

Руководитель работы

доцент

_____ С.А. Петрищев
_____ 2020 г.

Экономическая часть

доцент

_____ С.А. Петрищев
_____ 2020 г.

Автор работы

студент группы ФТТ-533

_____ А.П. Доменнова
_____ 2020 г.

Нормоконтролер

ст. преподаватель

_____ О.В. Терентьев
_____ 2020 г.

Златоуст 2020

АННОТАЦИЯ

Доменнова А.П. Тема работы: Разработка практических занятий по дисциплине «Физические основы электроники» – г. Златоуст: филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте, кафедра ЭАПП; 2020 г., 74 с., 35 ил., библиогр. список – 20 наим., 8 листов чертежей ф. А1.

В данной выпускной квалификационной работе приведен вариант разработки пособия к практическим работам по дисциплине «Физические основы электротехники».

Произведена разработка учебного пособия к практическим работам по дисциплине «Физические основы электроники».

Создан методический материал для проведения практических работ.

Проведен сравнительный анализ.

Основная цель выпускной квалификационной работы была достигнута путём использования разработанного методического пособия, что привело к повышению качества обучения бакалавров направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

В организационно-экономическом разделе произведен расчет затрат на обслуживание и эксплуатацию учебно-лабораторного комплекса «Аналоговая электроника».

Разработаны мероприятия по охране труда, экологической безопасности и чрезвычайным ситуациям.

Результаты работы планируется к внедрению на кафедру ЭАПП филиала ЮУрГУ в г. Златоусте.

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Доменнова А.П.				Разработка практических занятий по дисциплине «Физические основы электроники». Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Петрищев С.А.					Д	4	74
Т. Контр.	Сандалов В.М.					Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоуст Кафедра ЭАПП		
Н. Контр.	Терентьев О.В.							
Утверд.	Сергеев Ю.С.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	7
2 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ	11
3 РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	12
3.1 Практическое задание № 1. Прямое и обратное включение диода	12
3.2 Практическое задание № 2. Графический расчет режима работы стабилитрона.	16
3.3 Практическое задание № 3 Расчет транзисторного стабилизатора напряжения	18
3.4 Практическое задание №4. Расчет усилителя переменного тока на биполярном транзисторе	22
3.5 Практическое задание № 5. Расчет трехкаскадного усилителя переменного тока с RC – связью	31
3.6 Практическое задание №6 Расчет гистерезисной схемы сравнения	45
4. МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ НА ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ «АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»	49
4.1 Практическая работа № 1 «Расчет характеристик инвертирующего и неинвертирующего усилителя».....	49
4.2 Практическая работа №2 «Расчет характеристик повторителя напряжения и сумматора напряжений».....	52
4.3 Практическая работа №3 «Исследование стабилизаторов напряжения»	54
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА	58
5.1 Исходные положения	58
5.2 Расчет технико-экономических показателей	58
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	64
6.1 Краткое описание рассматриваемого объекта.....	64
6.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	64
6.3 Охрана труда	65
6.4 Производственная санитария	66
6.5 Эргономика и производственная эстетика.....	67
6.6 Противопожарная охрана.....	70
6.7 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций ..	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	73

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Физические основы электроники» позволяет формировать навыки чтения элементарных схем информационной электроники и устройств преобразовательной техники, понимания происходящих в них процессов, научить их рассчитывать и применять, создать базу для изучения последующих курсов – «Теории электропривода», «Систем управления электроприводами» для направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

В центре внимания высших образовательных учреждений постоянно находятся вопросы подготовки студентов в области изучения физических основ электроники и применение полученных практических знаний, которые обеспечивают повышение качества изучения и сокращение затраченного времени.

В данной выпускной квалификационной работе произведен выбор платформы для выполнения практических занятий, практические занятия разработаны по дисциплине «Физические основы электроники», созданы методические материалы для проведения практических занятий.

В работе рассматриваются такие темы, как линейные, разветвляющиеся и циклические алгоритмы, работа со строковым типом данных, одномерные и многомерные массивы, графики функций. По каждой теме рассмотрены теоретические и практические задания примеры, задания для самостоятельной работы.

В организационно-экономическом разделе произведен расчет всех расходов связанных с разработкой учебного пособия. Рассчитана полная себестоимость проекта на разработку учебного пособия к практическим занятиям по дисциплине «Физические основы электроники».

В разделе безопасность жизнедеятельности рассмотрены вопросы: охрана труда; противопожарная безопасность; расчет искусственного освещения.

Использование материалов работы планируется к внедрению в учебный процесс бакалавров направления 13.03.02 «Энергетика и электротехника» путем использования современных цифровых технологий.

Целью данной работы является повышение качества обучения бакалавров направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» путём использования разработанных практических занятий по дисциплине «Физические основы электроники».

Задачи:

- Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений
- Общие указания к выполнению практических заданий
- Разработка практических занятий по дисциплине
- Методическое указание к выполнению практических работ на лабораторном комплексе «Аналоговая электроника»
- Технико-экономическая оценка

Объект: дисциплина «Физические основы электроники».

Предмет: практические занятия по дисциплине «Физические основы электроники».

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

Учебный процесс, деятельность преподавателя и студентов, результат обучения в высшей школе зависят от обучения как способов организации познавательной деятельности. Под методом обучения понимают способ взаимосвязанной деятельности преподавателя и студентов, направленный на решение задач образования.

В научной литературе выделяют пять методов обучения. Их классификация построена таким образом, что в каждом следующем методе возрастает степень активности и самостоятельности обучаемых.

1. Объяснительно-иллюстративный метод заключается в том, что учащиеся получают знания на лекции, из учебной, методической литературы в «готовом» виде. В вузе данный метод предполагает передачу учащемуся большого количества информации.

2. К репродуктивному методу относят применение изученного на основе образца или правила. Обучаемые в процессе обучения действуют по инструкциям, правилам в аналогичных, сходных с показанным образцом ситуациях.

3. Метод проблемного изложения состоит в использовании педагогом самых разных источников и средств. Прежде чем излагать материал, педагог ставит проблему, формулирует познавательную задачу, а затем, сравнивая точки зрения, различные подходы, показывает способ решения. Студенты при этом становятся участниками научного поиска. Данный подход широко используется в вузовской практике.

4. Частично-поисковый, или эвристический (от греч. *heurisko* – отыскиваю, открываю), метод используется в процессе открытия нового. Его суть состоит в организации педагогом активного поиска решения выдвинутых в обучении (или самостоятельно сформулированных) познавательных задач. Поиск решения может проходить либо под руководством педагога, либо на основе эвристических программ и указаний. Такой метод способствует активизации мышления, возбуждению интереса к познанию на семинарах.

5. Исследовательский метод состоит в том, что после анализа материала, постановки проблем и задач, краткого инструктажа обучаемые самостоятельно изучают литературу, источники, ведут наблюдения и выполняют другие действия поискового характера. Этот метод способствует развитию у учащихся инициативы, самостоятельности, творческого поиска в исследовательской деятельности.

Выбор методов обучения не может быть произвольным. Выбирая тот или иной метод обучения, необходимо каждый раз учитывать многие обстоятельства. Необходимо, в первую очередь, определить главную цель и конкретные задачи, которые будут решаться на занятии. Они обуславливают группу методов, в общих чертах пригодных для достижения намеченных задач. Далее следует целенаправленный выбор оптимальных путей, позволяющих наилучшим образом осуществить познавательный процесс.

Термин «практическое занятие» используется в педагогике как родовое понятие, включающее такие виды, как лабораторную работу, упражнение, семинар в

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Воплощение плана занятия (реализация). Цель ПЗ выполняет также и частично-мотивационную функцию и часто стимулирует студентов к изучению данной темы и работе над ней. Главным результатом этого этапа учебной деятельности должно быть формирование логического мышления студентов, отработка умений и практических навыков. Всё это обеспечивает быструю и верную ориентировку в постоянно изменяющихся конкретных педагогических ситуациях, активизирует учебную деятельность студента, стимулирует и синтезирует его познавательную деятельность.

Выделяют следующие этапы, через которые проходит познавательная деятельность студента на практических занятиях:

1. Объяснения преподавателя. Этап теоретического осмысления работы.
2. Показ. Этап инструктажа.
3. Проба. Этап, на котором 2-3 студента выполняют работу, а остальные наблюдают и под руководством преподавателя делают замечания, если в процессе работы допускается ошибка.
4. Выполнение работы. Этап, на котором каждый самостоятельно выполняет задание. Преподаватель на этом этапе особое внимание уделяет тем студентам, которые плохо справляются с заданием.
5. Контроль. На этом этапе работы студентов принимаются и оцениваются. Учитывается качество выполнения, бережное отношение к времени, скорость и правильное выполнение задания.

Преимущества практического занятия:

- Обучение проходит более успешно, если сопровождается практическими действиями.
- Пока один студент выполняет практические задания, другие могут наблюдать и комментировать.
- Преподаватель может непосредственно общаться с меньшим числом участников.
- Предоставляется возможность для конструктивной обратной связи и закрепления материала со стороны преподавателя.
- Успешное применение навыков укрепляет чувство уверенности студента в самом себе.
- Выявляет для студента то, что нуждается в дальнейшем совершенствовании.
- Приближает абстрактное обучение к реальности.
- Помогает связать воедино ключевые моменты учебной программы.
- Переносит центр внимания на студента.
- Закрепляет пройденный материал.
- Позволяет преподавателю увидеть моменты, требующие повторного рассмотрения.

Вывод по разделу один:

Приведен сравнительный анализ методик проведения практических занятий, выявлены основные элементы эффективного построения занятия.

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

2 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

Одним из наиболее важных этапов самостоятельной работы студентов при изучении ФОЭ является выполнение расчетно-графических работ, которые помогают усвоению материала курса и облегчают подготовку к экзамену.

Прежде чем приступить к выполнению данной практической работе, необходимо твердо усвоить основные определения электрических величин, а также понятия и законы, которыми устанавливается связь между ними.

При выполнении и оформлении расчетно-графической работы необходимо придерживаться следующих основных требований:

– работа оформляется на стандартных листах бумаги формата А4, скрепленных между собой;

– обложкой служит титульный лист, на котором указывается учебное заведение и кафедра, номер, название и вариант расчетно-графической работы, фамилия студента, номер группы и фамилия преподавателя;

– на первой странице указывается номер и название задачи, вычерчивается схема электрической цепи заданного варианта, приводятся исходные параметры и перечисляются требования по расчету. Такая страница предшествует каждой задаче расчетно-графической работы;

– каждый этап расчета должен иметь свой заголовок, вычисления и алгебраические преобразования сопровождаются краткими пояснениями, у окончательного результата проставляется размерность;

– в тексте расчетно-графической работы не допускаются сокращения слов, кроме общепринятых сокращений, таких как э.д.с., к.п.д. и т.д.;

– графики выполняются с соблюдением общепринятых инженерных требований. По осям наносятся равномерные масштабные шкалы. В конце шкалы указывается обозначение переменной и ее размерность. Координатные системы для разных функций, построенных от одной переменной, должны располагаться на одной странице и быть совмещены по осям абсцисс;

– при решении задач необходимо пользоваться международной системой единиц СИ (ГОСТ 9867-62);

– допускается применять в расчетах математические пакеты программ и приводить в работе графики, построенные на компьютере с соблюдением соответствующих требований.

Вывод по разделу два:

Составлены основные требования при выполнении и оформлении практических заданий.

3 РАЗРАБОТКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1 Практическое задание № 1. Прямое и обратное включение диода

Полупроводниковый диод – это прибор, содержащий один $n - p$ – переход и имеющий два вывода – анод и катод. Принцип действия основан на модуляции сопротивления знаком приложенного напряжения.

Основное отличие идеального $n - p$ – перехода от реального наличие пробоев в обратной ветви ВАХ и небольшое падение напряжения на $n - p$ – переходе при прямом включении.

Лавинный пробой, возникает при достаточно большом обратном напряжении, больше критического для данного материала. При этом напряжённость электрона на длине свободного пробега приобретает энергию достаточную для ионизации узлов кристаллической решётки. В результате возникает лавинное размножение носителей зарядов.

Туннельный пробой. При приложении достаточно большого обратного напряжения энергетические зоны перехода искривляются настолько, что энергетический уровень валентной зоны становится выше уровня проводимости. В результате возможен переход носителей заряда из одной области в другую, практически без потребления энергии.

Туннельный и лавинные пробои при ограничении тока не являются необратимыми, т.е не приводят к разрушению $n - p$ – перехода.

Тепловой пробой – возникает при обратном включении $n - p$ – перехода при нарушении теплового баланса, т.е в том случае, когда приток тепла за счёт прохождения тока превышает его отвод, при этом повышается температура, следовательно увеличивается обратный ток, что приводит также к повышению температуры.

Полупроводниковый стабилитрон это полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя при обратном смещении слабо зависит от тока в заданном его диапазоне и который предназначен для стабилизации напряжения.

В стабилитронах, используется лавинный или туннельный пробой.

Классификация диодов

По средним значениям прямого тока различают:

- диоды малой мощности: ток до 0,3А.
- средней мощности: ток от 0,3 до 10А.
- большей мощности: ток более 10А.

По функциональному назначению:

- а) выпрямительные диоды
- б) стабилитроны
- в) туннельные
- г) импульсные и т.д

Задание.

Рассчитать и построить вольт – амперную характеристику диода при температуре T , если обратный тепловой ток I . Расчет производить в интервалах от 0 до 1 В при прямом включении, и от 0 до 10 В при обратном включении.

Каждому студенту предоставляется свой вариант (таблица 3.1) на практическую работу в соответствии с рисунками 3.1 – 3.2.

Таблица 3.1 – Вариант задания

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$I_0, \text{мА}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2	1.4	1.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2	1.4	1.6
$T, \text{К}$	273	300	320	330	340	350	360	370	380	390	390	380	370	360	350	340	330	320	300	273

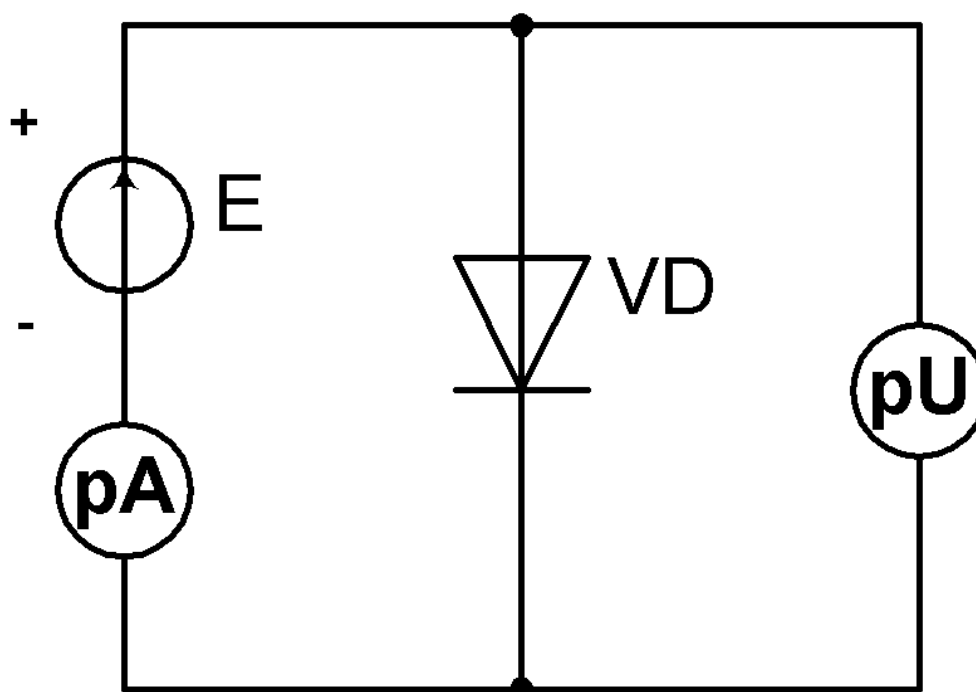


Рисунок 3.1. - Схема прямого включения VD.

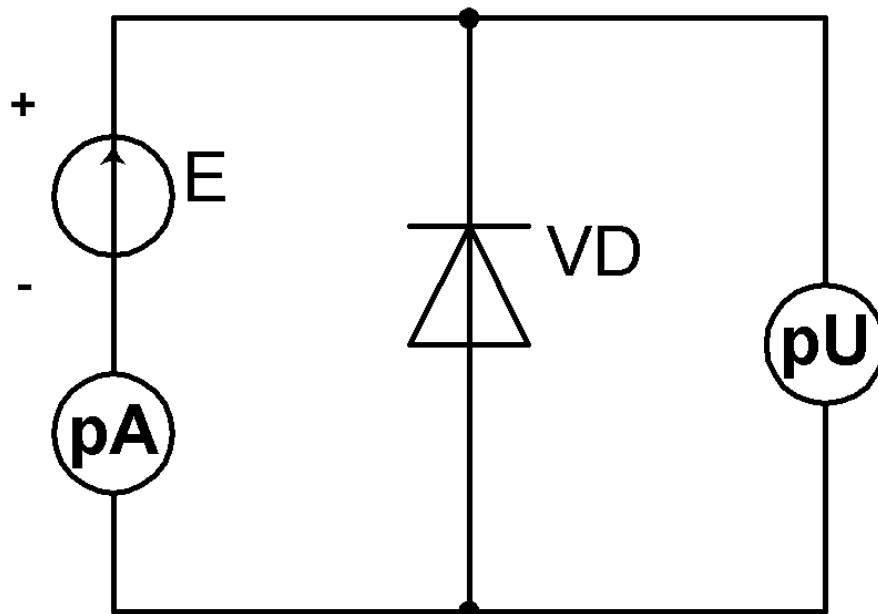


Рисунок 3.2 - Схема обратного включения VD

По формуле, приведенной ниже сделали расчет вольтамперной характеристики при прямом и обратном включении диода и сведем полученные данные в таблицу 1.

$$I = I_0 (e^{u/\varphi} - 1),$$

где φ – тепловой потенциал.

$$\varphi = kT/e,$$

где $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж / К – постоянная Больцмана.

$E = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

В таблице 3.2 представлен пример расчета.

Таблица 3.2 – Пример расчета вольтамперной характеристики

Прямое включение		Обратное включение	
Uпр, В	Iпр, А	Uобр, В	Iобр, А
0	0	-0.001	-3.60567E-05
0.1	0.02415843	-0.003	-0.000104952
0.2	0.534674989	-0.005	-0.00016977
0.3	11.32292381	-0.007	-0.000230751
0.4	239.3004703	-0.01	-0.000315522
0.5	5056.927739	-0.02	-0.000548082
0.6	106863.1488	-0.03	-0.000719494
0.7	2258234.784	-0.05	-0.000938958
0.8	47721074.5	-0.2	-0.001197313
0.9	1008442951	-1	-0.0012
1	21310441911	-2	-0.0012

По ВАХ определяется обратный ток насыщения и прямое напряжение насыщения:

$$I_{T.OBP} = 1.2 \text{ мА}$$

$$U_{T.ПР} = 0.33165 \text{ В}$$

По результатам расчета построена вольтамперная характеристика, представленная на рисунке 3.3.

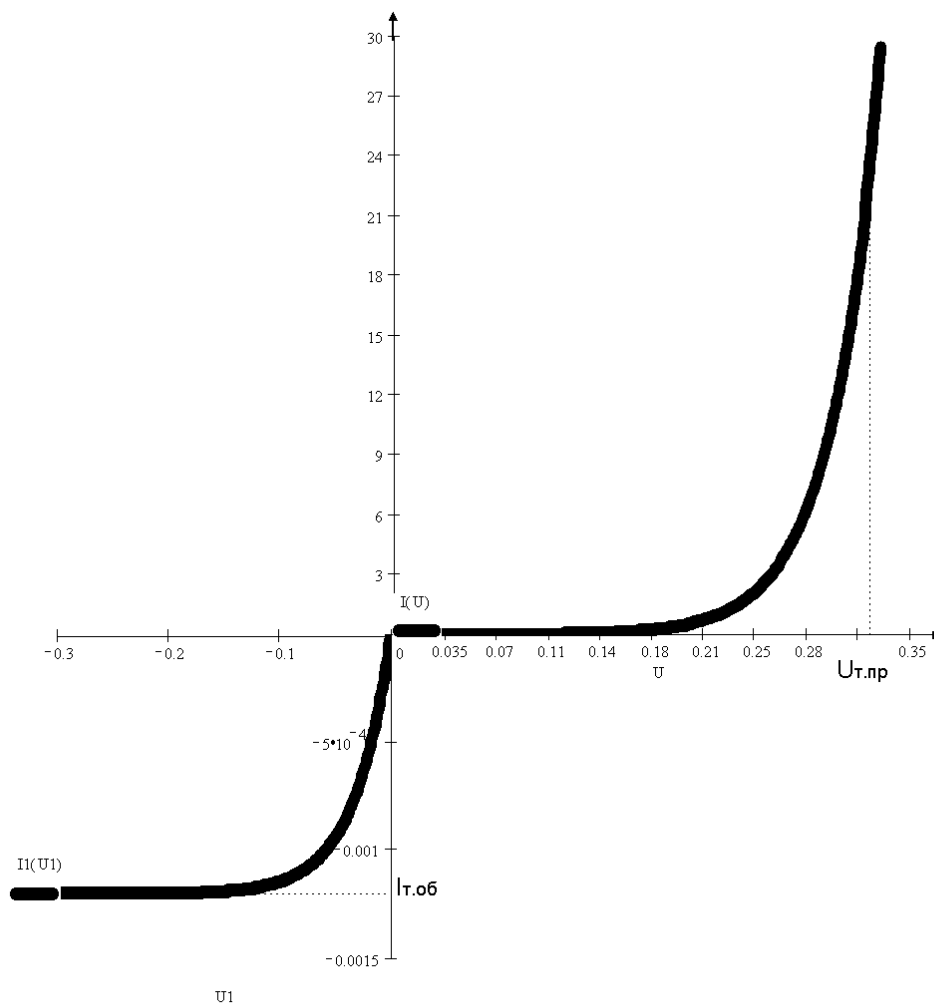


Рисунок 3.3 – Вольтамперная характеристика диода

Вывод: в ходе работы выяснили, что ВАХ нашего диода отличается от ВАХ идеального диода наличием падения напряжения на приборе при пропускании прямого и обратного тока в случае приложения обратного напряжения. При обратном включении основные носители зарядов не способны преодолеть потенциальный барьер, этим объясняется отсутствие роста обратного тока выше $I_{T.OBP}$.
ВАХ

3.2 Практическое задание № 2. Графический расчет режима работы стабилитрона.

Определить диапазон возможных изменений тока нагрузки I_H при известных входных напряжениях

Каждому студенту предоставляется свой вариант на практическую работу, в соответствии с рисунком 3.4

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип стаб.	КС133А	КС139А	КС147А	КС156А	КС162А	КС168А	КС170А	КС175А	Д808	Д818Б
$U_{вх.min}, В$	5	5.5	7	6.5	8	9	8.5	9	9	10.5
$U_{вх.max}, В$	14	12	15	11	11.5	13	10	11	12	13.5

№ вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тип стаб.	КС133А	КС139А	КС147А	КС156А	КС162А	КС168А	КС170А	КС175А	Д808	Д818Б
$U_{вх.min}, В$	9.5	11	10.5	12	11	13	14.5	15	12	10
$U_{вх.max}, В$	10	16	12	15	12	15	16	16	16	14

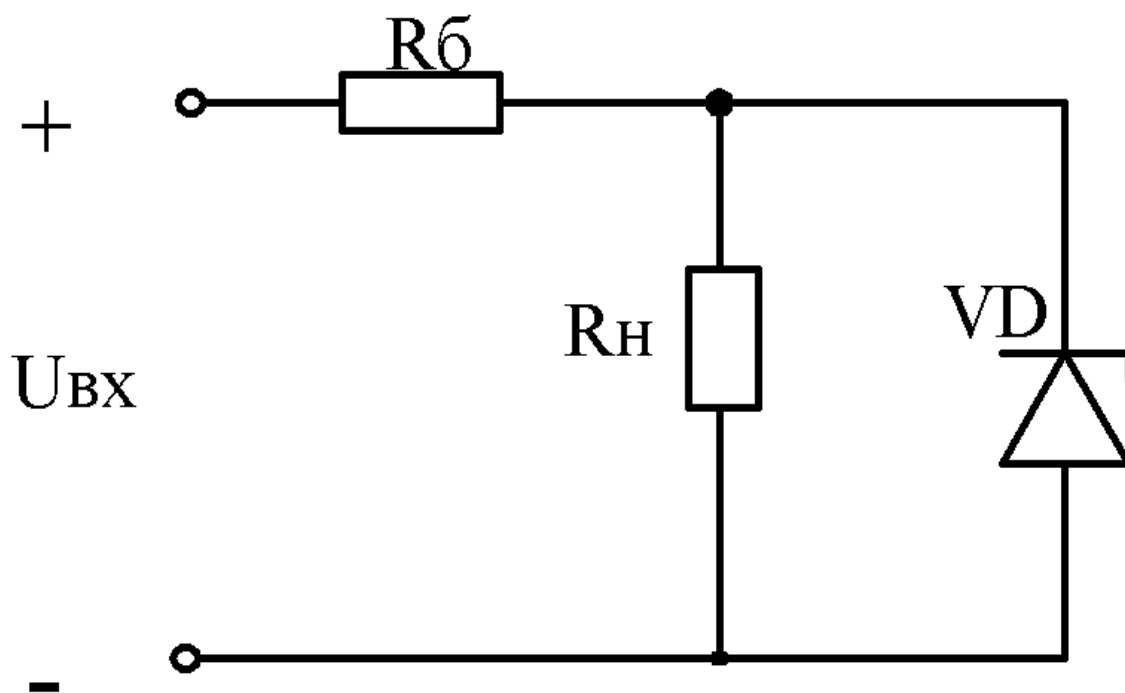


Рисунок 3.4 – Вариант практического задания №2

Далее представлен пример расчета.

Задание: найти $I_{H.min}$, $I_{H.max}$, подобрать $R_б$ из стандартного ряда.

Исходные данные: стабилитрон Д818в ($U_{ст.} = 9В$, $I_{ст.max} = 3mA$, $I_{ст.max} = 33mA$),
 $U_{вх.min} = 12В$, $U_{вх.max} = 22,5В$

Выполнение задания:

1. Строим ВАХ стабилитрона согласно рисунку 3.5, точки *a* соответствует $I_{ст. min}$, а точка *b* $I_{ст. max}$.
2. Строим характеристики линейной части схемы через точки $U_{вх. max}$, $U_{вх. min}$ на оси напряжений $U_{вх. max}/R_б$, $U_{вх. min}/R_б$ соответственно, на оси токов. Из графика находим

$$R_б = U/I, R_б = 363,6 \text{ Ом.}$$

3. Параллельно (т.к. $R_б = const$) проводим через точки *a* и *b* характеристики, которые пересекают ось напряжений в точках

$$U_{вх. min} - I_{H. max} * R_б, U_{вх. max} * R_б$$

и ось токов в точках

$$U_{вх. min}/R_б - I_{H. max}, U_{вх. max}/R_б - I_{H. min}.$$

4. По графику определили токи

$$I_{H. min} = 4,6 \text{ mA}, I_{H. max} = 10 \text{ mA.}$$

5. Подбираем $R_б$ из стандартного ряда.

- а. Определяем диапазон входных токов

$$9,3 \text{ mA} \leq I_{вх} \leq 37 \text{ mA},$$

$$I_{вх} = (U_{вх} - U_H) / R_б /$$

- б. Находим мощность

$$P_{R_б} = U_{R_б} * I_{вх},$$

$$P_{R_б} = 0,5 \text{ Вт.}$$

- в. Из справочника выбираем резистор удовлетворяющий условиям:

$$R_{выб} = R_б + 10\% \text{ и } P_{R_б} \leq P_{выб}.$$

В данном случае выбираем резистор С2-26 с $P_{ном} = 0,7 \text{ Вт}$ и $R = 365 \text{ Ом}$.

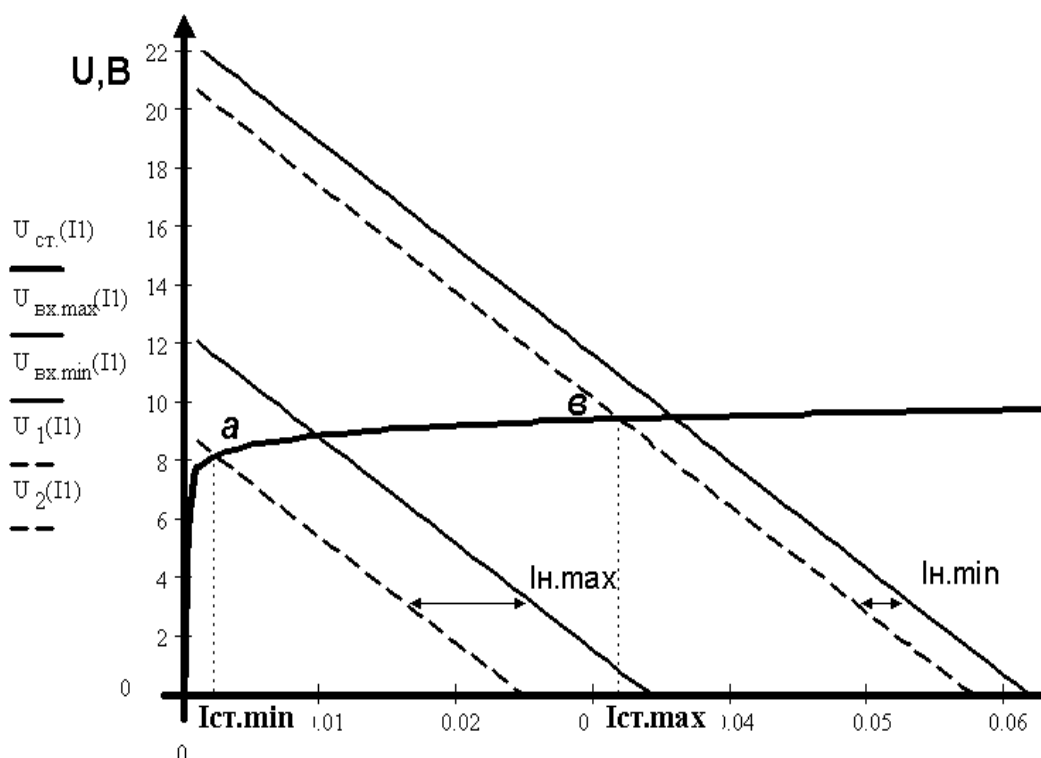


Рисунок 3.5 – Графический расчет стабилитрона

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

3.3 Практическое задание № 3 Расчет транзисторного стабилизатора напряжения

В результате расчета необходимо определить типы транзисторов и стабилитрона, величины параметров всех деталей, входящих в систему стабилизатора и обеспечивающих заданный режимы его работы, необходимую величину входного напряжения, коэффициент стабилизации схемы по напряжению и к.п.д. стабилизатора

Каждому студенту предоставляется свой вариант на практическую работу, согласно таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Вариант задания

п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$U_{\text{вых}}, \text{В}$	$4 \pm 0,8$	6 ± 1	$8 \pm 1,6$	$10 \pm 0,8$	12 ± 2	$14 \pm 2,4$	$16 \pm 2,6$	$18 \pm 2,8$	$20 \pm 3,2$	$18 \pm 2,8$	$16 \pm 2,7$	$14 \pm 2,2$	12 ± 2	$10 \pm 1,8$	$8 \pm 1,6$	$6 \pm 1,2$	$4 \pm 1,2$	$20 \pm 3,4$	$18 \pm 2,8$	$16 \pm 2,5$
$I_{\text{вых}}, \text{А}$	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	0,7	1,6	0,4	1	0,8	0,5	0,2	0,2	1,6	1,4	1,2
$a_{\text{вх}}, \%$	20	18	16	14	12	10	8	6	4	10	20	18	16	12	10	8	6	20	18	16
$a_{\text{вых}}, \%$	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	0,4	0,3

Схема транзисторного стабилизатора напряжения изображена на рисунке 3.6

Исходные данные для расчета стабилизатора

- номинальное выходное напряжение стабилизатора $U_{\text{вых}} = 12$ с плавной регулировкой в пределах ± 2 В;

- номинальный ток нагрузки $I_{\text{вых}} = 0,2$ А;

- допустимое отклонение напряжения на входе стабилизатора от номинального значения в сторону увеличения ($a_{\text{вх}}$) и в сторону уменьшения ($b_{\text{вх}}$)

$$a_{\text{вх}} = b_{\text{вх}} = 10\%$$

- допустимое отклонение выходного напряжения от номинального

$$a_{\text{вых}} = b_{\text{вых}} = 0,2\%$$

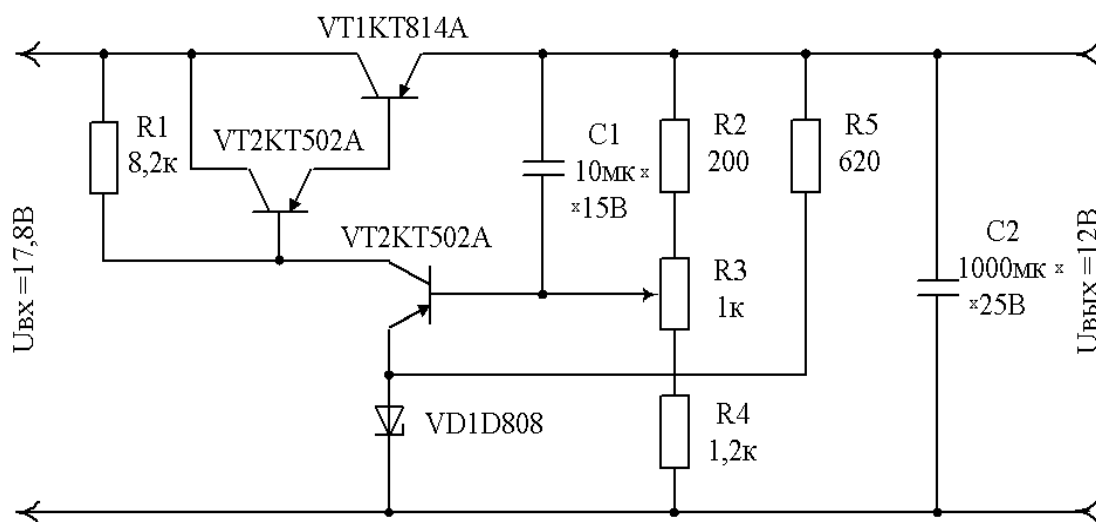


Рисунок 3.6 - Схема транзисторного стабилизатора напряжения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

В результате расчетов необходимо определить типы транзисторов и стабилизатора, величины параметров всех деталей, входящих в систему стабилизатора и обеспечивающих заданный режим работы, необходимую величину входного напряжения, коэффициент стабилизации схемы по напряжению и к.п.д. стабилизатора.

Порядок расчета.

1. Определим требуемое значение коэффициента стабилизации:

$$K_{\text{ст(ш)Треб}} = (a_{\text{ВЫХ}} + b_{\text{ВХ}}) / (a_{\text{ВЫХ}} + b_{\text{ВЫХ}}) = (10 + 10) / (0,2 + 0,2) = 50$$

2. Находим величину минимального напряжения на входе стабилизатора:

$$U_{\text{ВХ МИН}} = U = U_{\text{ВЫХ}} + U_{\text{К.Э1 МИН}} + \Delta U_{\text{ВЫХ}}$$

где $U_{\text{К.Э1 МИН}}$ – минимально допустимое напряжение между эмиттером и коллектором транзистора, при котором работа еще происходит на линейном участке выходной характеристики $I_k = f(U_{\text{К.Э}})$ при $I_G = \text{const}$

$\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ – отклонение напряжения на выходе стабилизатора от номинального.

Напряжение $U_{\text{К.Э1 МИН}}$ для большинства транзисторов не превышает от 1 – 3 В. При расчете $U_{\text{К.Э1 МИН}}$ можно принять равным 2 В.

Величина напряжения $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ для нашего примера определяет; верхним пределом регулировки выходного напряжения, то есть равна 2 В. Таким образом

$$U_{\text{ВХ МИН}} = 12 + 2 + 2 = 16 \text{ В.}$$

Номинальное и максимальное напряжение на входе стабилизатора с учетом допустимых отклонений входного напряжения $a_{\text{ВХ}} = b_{\text{ВХ}} = 10\%$, соответственно равны

$$U_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ МИН}} / (1 - (b_{\text{ВХ}}/100)) = 16 / (1 - (10/100)) \approx 17.8 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ВХ МАКС}} = U_{\text{ВХ}} * (1 + (a_{\text{ВХ}}/100)) = 17.8 * (1 + (10/100)) \approx 19.6 \text{ В.}$$

3. Определим максимальное падение напряжения на участке эмиттер – коллектор регулирующего транзистора:

По справочнику [15] выбираем транзистор Т1 типа КТ81АА с такими параметрами: статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $H_{21Э. \text{МИН}} = 40$, максимально допустимое постоянное напряжение коллектор – эмиттер ($I_G = 0$) $U_{\text{К.Э1 МАКС}} = 25 \text{ В}$; максимально допустимый постоянный ток коллектора $I_{\text{К.МАКС}} = 1,5 \text{ А}$; максимально допустимая рассеиваемая постоянная мощность (с тепло отводом) $P_{\text{К.МАКС}} = 10 \text{ Вт}$.

Таким образом, для выбранного транзистора КТ81АА условия (6—8) выполняются.

Выбираем тип согласующего транзистора Т2. Транзистор Т2 предназначен для согласования большого выходного сопротивления (порядке 10 кОм) усилите-

ля постоянного тока, собранного на транзисторе T_3 , с малым входным сопротивлением (порядка 10 Ом) регулирующего транзистора T_1 . Кроме того, транзисторы T_1 и T_2 , образуя составной транзистор, имеют общий коэффициент усиления по току.

$$h_{21э. общ} = h_{21э}(T_1) * h_{21э}(T_2)$$

где $h_{21э}(T_1)$ и $h_{21э}(T_2)$ – коэффициенты передачи тока транзисторов T_1 и T_2
 Большой статический коэффициент передачи тока В; 1» сек позволяет значительно повысить коэффициент стабилизации схемы по напряжению.

$$I_{к2} \approx I_{э2} = I_{б1}$$

где $I_{к2}$ и $I_{э2}$ – токи коллектора и эмиттера транзистора T_2 ;
 $I_{б1}$ – ток базы транзистора T_1 , и учитывая, что

$$I_{б1} \approx I_{к1} / h_{21э}(T_1) \approx I_{вых} / h_{21э}(T_1) = 200/40 = 5 \text{ мА},$$

Получим

$$I_{к2} \approx 5 \text{ мА}.$$

Кроме того

$$U_{к.э2 макс} \approx U_{к.э1 макс.} = 9.3 \text{ В}.$$

Таким образом мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора T_2 равна:

$$P_{к2 макс} \approx U_{к.э2 макс} * I_{к2} = 9,6 * 5 * 10^{-3} = 48 \text{ мВт}.$$

Выбираем транзистор T_2 типа КТ502А с параметрами: статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $h_{21э. мин} = 40$; максимально допустимое постоянное напряжение коллектор – эмиттер $U_{к.э2 макс. доп} = 25 \text{ В}$; максимально допустимый ток коллектора $I_{к макс. доп.} = 300 \text{ мА}$, максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора $P_{к2 макс. доп.} = 500 \text{ мВт}$.

Поскольку $P_{к2 макс} = 48 \text{ мВт} < P_{к2 макс. доп} = 500 \text{ мВт}$, то транзистор T_2 выбран правильно.

Выбираем вид кремниевого стабилитрона. В качестве источника опорного напряжения обычно используют стабилитрон, который должен иметь номинальное напряжение стабилизации

$$U_{ст.ном} \approx (0,6-0,7) U_{вых} = (0,6-0,7) 12 = (7,2-8,4) \text{ В}.$$

По справочнику выбираем стабилитрон типа Д808, у которого

$$U_{ст.ном} = 7,75 \text{ В}, \Delta U_{ст} = \pm 0,75 \text{ В}.$$

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Находим коэффициент деления напряжения делением $R_2 R_3 R_4$

$$\alpha \approx U_{2 \text{ Вых}} / U_{\text{Вых}} = U_{\text{оп}} / U_{\text{Вых}} \approx 0,65$$

Выбираем тип управляющего (усилительного) транзистора T_3 . На транзисторе T_3 собран усилитель, который должен реагировать на самые незначительные колебания выходного напряжения и усиливать их до величины, достаточной для управления регулирующим транзистором. Поэтому управляющий транзистор должен обеспечить достаточное усиление сигнала по напряжению. При выборе транзистора необходимо обратить внимание на величину коллекторного тока $I_{к3}$. Этот ток должен быть по возможности небольшим, но всегда превышать ток базы согласующего усиления по напряжению для управляющего транзистора можно найти по формуле:

$$K_{3(u)\text{треб}} = \Delta U_{\text{вх}} * 100 / U_{\text{Вых}} * (a_{\text{Вых}} + b_{\text{Вых}}) * \alpha$$

где $\Delta U_{\text{вх}} = U_{\text{вх макс.}} - U_{\text{вх мин.}} = 19,6 - 16 = 3,6 \text{ В}$.

Подставим в формулы численные значения, получим:

$$K_{3(u)\text{треб}} = 3,6 * 100 / 12 * (0,2 + 0,2) * 0,65 = 115$$

Наиболее часто в качестве управляющих используются маломощные и средней мощности низкочастотные и среднечастотные транзисторы. Выбираем опять транзистор КТ502А. Определяем фактический коэффициент усиления каскада на этом транзисторе. Для этого можно воспользоваться формулой:

$$K_{3(u)\text{треб}} = \Delta I_{к3} * R_1 / \Delta U_{\sigma_{33}}$$

Где $\Delta I_{к3} / \Delta U_{\sigma_{33}} = S_3$ – крутизна характеристики транзистора T_3 ; (число показывающее на сколько миллиампер изменяется коллекторный ток при изменении напряжения между базой и эмиттером транзистора на один вольт); R_1 — сопротивление нагрузки в цепи коллектора транзистора T_3 .

Для транзисторов средней мощности диапазона средних частот, используемых в схемах стабилизаторов напряжения, значение крутизны лежит в пределах.

$$S_3 = (20/40) \text{ мА/В}$$

Принимаем

$$S_3 = 30 \text{ мА/В}$$

Сопротивление R_1 может быть найдено по формуле

$$R_1 = 0,5 U_{кэ 1 \text{ мин}} h_{21э} (T_1) h_{21э} (T_2) / I_{\text{Вых}} = 0,5 * 2 * 40 * 40 / 0,2 = 8 \text{ кОм}$$

Принимаем $R_1 = 8,2 \text{ кОм}$.

									Лист
									21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР				

Мощность, рассеиваемая на резисторе R_1 , составляет

$$P_{R1} \approx (I_{k3})^2 R_1 = (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 8,2 \cdot 10^3 \approx 33 \text{ мВт}$$

В качестве резистора R_1 можно использовать резистор типа МЛТ—0,125. Таким образом

$$K_{3(u)расч} = 30 \cdot 10^3 \cdot 8,2 \cdot 10^3 = 246 > K_{3(u)треб} = 115.$$

Определим величину мощности, рассеиваемой на коллекторе транзистора T_3 ;

$$R_{k3 \text{ макс}} = U_{kэ3 \text{ макс}} \cdot I_{k3}$$

Принимая

$$U_{kэ3 \text{ макс}} = U_{\text{ВЫХ}} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ОП}} = 12 + 2 - 7,75 = 6,25 \text{ В}$$

Получим

$$P_{k3 \text{ макс}} = 6,25 \cdot 2 \cdot 10^3 = 0,0125 \text{ Вт}$$

Следовательно, транзистор выбран правильно.

Определим величины сопротивлений резисторов и емкости конденсаторов схемы. Как мы уже выяснили, сопротивление нагрузки в цепи коллектора транзистора T_3 ; $= 8,2 \text{ кОм}$. Найдем сопротивление выходного делителя. Ток делителя I_d обычно выбирают на один-два порядка выше тока базы управляющего транзистора T_3 . Ток базы транзистора T_3 можно найти по формуле:

$$I_{б2} = I_{k3} / h_{21э} (T_3) = 2 \cdot 10^3 / 40 = 0,05 \text{ мА}$$

Выбирая ток делителя $I_d = 5 \text{ мА}$, найдем общее сопротивление делителя

$$R_d = R_2 + R_3 + R_4 = U_{\text{ВЫХ}} / I_d = 2,4 \text{ кОм}.$$

В соответствии с заданием выходное напряжение стабилизатора должно регулироваться в пределах $\pm 2 \text{ В}$;

Учитывая также, что напряжение стабилизации стабилитрона Д808 может меняться в пределах $7 / 8,5 \text{ В}$, определим сопротивление нижнего плеча делителя для критических значений $U_{\text{ОП}}$ и $U_{\text{ВЫХ}}$.

3.4 Практическое задание №4. Расчет усилителя переменного тока на биполярном транзисторе

На основании принципиальной электрической схемы, изображенной на рисунке 3.7, с заданными параметрами, представленными в таблице.3.4, требуется:

- 1) рассчитать каскад с последовательной отрицательной обратной связью по току из условия получения максимальной неискаженной амплитуды выходного напряжения;
- 2) выбрать типы всех элементов входящих в состав схемы;
- 3) составить принципиальную схему устройства и перечень элементов.

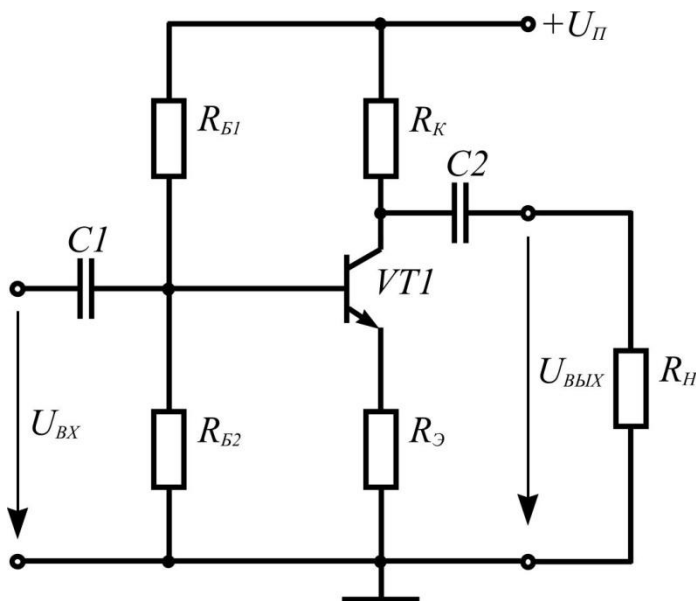


Рисунок 3.7 - Усилительный каскад на биполярном транзисторе.

Таблица 3.4 -Исходные данные к задаче «Расчет усилителя переменного тока на биполярном транзисторе»

№ варианта	Выбирается по первой цифре варианта			Выбирается по второй цифре варианта		
	тип транзистора	коэффициент усиления K_U	напряжение питания $U_{П}, В$	сопротивление нагрузки $R_H, кОм$	входное сопротивление усилителя $R_{ВХ}, кОм$	частота среза $f_{ср}, кГц$
1	КТ385А	25	30	1,1	0,82	0,05
2	КТ375А	20	30	1,2	0,75	0,10
3	КТ373А	15	30	1,3	0,68	0,15
4	КТ369А	10	30	1,5	0,62	0,20
5	КТ358А	5	15	1,6	0,56	0,25
6	КТ342А	25	30	1,8	0,51	0,30
7	КТ340А	20	15	2,0	0,47	0,40
8	КТ336А	15	10	2,2	0,43	0,50
9	КТ315А	10	20	2,4	0,39	0,60
10	КТ312А	5	20	2,7	0,36	0,75
11	КТ301Г	10	30	3,0	0,33	1,00
12	КТ385А	25	25	3,3	0,30	1,20
13	КТ375А	20	25	3,6	0,27	1,50

14	КТ373А	15	25	3,9	0,24	2,00
15	КТ369А	10	25	4,3	0,22	3,00
16	КТ358А	5	12	4,7	0,20	0,06
17	КТ342А	25	25	5,1	0,18	0,18
18	КТ340А	20	12	5,6	0,16	0,54
19	КТ336А	15	9	6,2	0,15	0,72
20	КТ315А	10	15	6,8	0,13	1,44
21	КТ312А	5	15	7,5	0,12	2,16
22	КТ301Г	5	25	8,2	0,11	2,88

Пример расчета.

Для принципиальной электрической схемы, изображенной на рисунке 3.8, с заданными параметрами, представленными в таблице 3.5, требуется:

- 1) рассчитать каскад с последовательной отрицательной обратной связью по току из условия получения максимальной неискаженной амплитуды выходного напряжения;
- 2) выбрать типы резисторов и конденсаторов входящих в состав схемы;
- 3) составить принципиальную схему устройства с указанием номинальных значений электрических величин и перечень элементов.

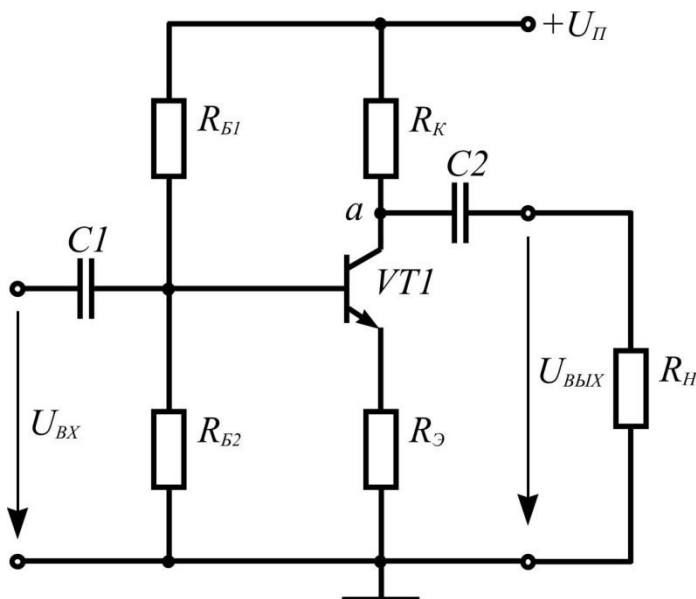


Рисунок 3.8 - Схема усилителя

Таблица 3.5 - Исходные данные к задаче «Расчет усилителя переменного тока на биполярном транзисторе»

Тип транзистора	Коэффициент усиления K_U	Напряжение питания $U_{П}, В$	Сопротивление нагрузки	Входное сопротивление усилителя $R_{ВХ}, кОм$
-----------------	----------------------------	-------------------------------	------------------------	---

			$R_H, \text{кОм}$	
КТ31 2А	10	15	10	0,1

1. Расчет каскада с последовательной отрицательной обратной связью по току из условия получения максимальной неискаженной амплитуды выходного напряжения

1.1 Из справочника выписываем основные параметры полупроводникового транзистора КТ312А.

Максимально допустимый ток коллектора $I_{К МАХ \text{ доп}} = 30 \text{ мА}$.
 Напряжение коллектор-эмиттер в режиме насыщения $U_{КЭ НАС} = 0,8 \text{ В}$.
 Напряжение база-эмиттер $U_{БЭ} = 0,65 \text{ В}$.
 Коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером $h_{21Э} = 30$

1.2 Определяем максимальный ток коллектора из условия

$$I_{К МАХ} = K_{ЗАП} \cdot I_{К МАХ \text{ доп}},$$

где $K_{ЗАП}$ — коэффициент запаса по коллекторному току принимается равным 0,7...0,8.

$$I_{К МАХ} = 0,75 \cdot 30 = 22,5 \text{ мА}.$$

1.3 Устанавливаем соотношение между сопротивлениями R_K и $R_Э$ используя коэффициент усиления каскада.

$$K_U = \frac{R_K}{R_Э},$$

$$R_Э = 0,1 \cdot R_K.$$

1.4 Определяем величину сопротивления R_K из выражения для тока коллектора максимального.

$$I_{К МАХ} = \frac{U_{П} - U_{КЭ НАС}}{R_K + R_Э}.$$

$$I_{К МАХ} = \frac{U_{П} - U_{КЭ НАС}}{R_K + 0,1 \cdot R_K} = \frac{U_{П} - U_{КЭ НАС}}{1,1 \cdot R_K}.$$

$$R_K = \frac{U_{П} - U_{КЭ НАС}}{1,1 \cdot I_{К МАХ}}.$$

$$R_K = \frac{15 - 0,8}{1,1 \cdot 22,5 \cdot 10^{-3}} = 630 \text{ Ом}.$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда (приложение 1).

$$R_K = 620 \text{ Ом}.$$

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

1.5 Определяем величину сопротивления $R_Э$.

$$R_Э = 0,1 \cdot R_К.$$

$$R_Э = 0,1 \cdot 620 = 62 \text{ Ом.}$$

1.6 Определяем величину сопротивления $R_Б$.

$$R_Б = R_Э \cdot (S_i - 1),$$

где S_i — коэффициент неустойчивости, в реальных схемах усилителей обычно лежит в диапазоне 2...5, принимаем $S_i = 3,5$.

$$R_Б = 62 \cdot (3,5 - 1) = 155 \text{ Ом.}$$

1.7 Уточняем значение коэффициент усиления каскада

$$K_U = \frac{h_{21Э} \cdot R_К}{R_{ВХ} + h_{21Э} \cdot R_Э + R_Б}$$

$$K_U = \frac{30 \cdot 620}{100 + 30 \cdot 62 + 155} = 8,79.$$

Требуемый коэффициент усиления по напряжению меньше заданного, поэтому увеличим сопротивление $R_К$ до 750 Ом, и вновь уточним значение коэффициента усиления

$$K_U = \frac{30 \cdot 750}{100 + 30 \cdot 62 + 155} = 10,64.$$

Полученный коэффициент примерно равен заданному следовательно сопротивления $R_К$ и $R_Э$ выбраны верно.

1.8 Определяем минимальное значение тока коллектора.

$$I_{К \text{ MIN}} = \frac{U_{П}}{K_U \cdot (R_К + R_Э)}$$

$$I_{К \text{ MIN}} = \frac{15}{10,64 \cdot (750 + 62)} = 1,74 \text{ мА.}$$

1.9 Уточняем максимальный ток коллектора

$$I_{К \text{ MAX}} = \frac{U_{П}}{R_К + R_Э}$$

$$I_{К \text{ MAX}} = \frac{15}{750 + 62} = 18,47 \text{ мА.}$$

1.10 Определяем минимальное выходное напряжение.

$$U_{ВЫХ \text{ MIN}} = I_{К \text{ MAX}} \cdot R_Э + U_{КЭ \text{ НАС.}}$$

$$U_{ВЫХ \text{ MIN}} = 18,47 \cdot 10^{-3} \cdot 62 + 0,8 = 1,95 \text{ В.}$$

1.11 Определяем максимальное выходное напряжение

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$U_{\text{ВЫХ МАХ}} = \left(\frac{U_{\text{П}}}{R_{\text{К}}} - I_{\text{К МИН}} \right) \cdot \frac{R_{\text{К}} \cdot R_{\text{Н}}}{R_{\text{К}} + R_{\text{Н}}}$$

$$U_{\text{ВЫХ МАХ}} = \left(\frac{15}{750} - 1,74 \cdot 10^{-3} \right) \cdot \frac{750 \cdot 10000}{750 + 10000} = 12,74 \text{ В.}$$

1.12 Определяем параметры режима покоя.

Выходное напряжение в режиме покоя

$$U_{\text{ВЫХ П}} = \frac{U_{\text{ВЫХ МАХ}} + U_{\text{ВЫХ МИН}}}{2}$$

$$U_{\text{ВЫХ П}} = \frac{12,74 + 1,95}{2} = 7,35 \text{ В}$$

Ток коллектора в режиме покоя

$$I_{\text{К П}} = \frac{U_{\text{П}} - U_{\text{ВЫХ П}}}{R_{\text{К}}} - \frac{U_{\text{ВЫХ П}}}{R_{\text{Н}}}$$

$$I_{\text{К П}} = \frac{15 - 7,35}{750} - \frac{7,35}{10000} = 9,47 \text{ мА.}$$

Ток базы в режиме покоя

$$I_{\text{Б П}} = \frac{I_{\text{К П}}}{h_{21Э}}$$

$$I_{\text{Б П}} = \frac{9,47 \cdot 10^{-3}}{30} = 0,32 \text{ мА.}$$

1.13 Определяем параметры выходного делителя, используя теорему об эквивалентном генераторе.

Напряжение $U_{\text{Б}}$.

$$U_{\text{Б}} = R_{\text{Э}} \cdot (I_{\text{К П}} + I_{\text{Б П}}) + U_{\text{БЭ}} + R_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{Б П}}$$

$$U_{\text{Б}} = 62 \cdot (9,47 \cdot 10^{-3} + 0,32 \cdot 10^{-3}) + 0,65 + 100 \cdot 0,32 \cdot 10^{-3} = 1,29 \text{ В.}$$

Напряжение $U_{\text{Э}}$.

$$U_{\text{Э}} = U_{\text{Б}} + R_{\text{Б}} \cdot I_{\text{Б П}}$$

$$U_{\text{Э}} = 1,29 + 155 \cdot 0,32 \cdot 10^{-3} = 1,34 \text{ В.}$$

Сопротивление $R_{\text{Б1}}$.

$$R_{\text{Б1}} = \frac{R_{\text{Б}} \cdot U_{\text{Э}} \cdot \left(1 + \frac{U_{\text{П}} - U_{\text{Э}}}{U_{\text{Э}}} \right)}{U_{\text{П}} - U_{\text{Э}}}$$

$$R_{\text{Б1}} = \frac{155 \cdot 1,34 \cdot \left(1 + \frac{15 - 1,34}{1,34} \right)}{15 - 1,34} = 170 \text{ Ом.}$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда (приложение 1).

$$R_{B1} = 180 \text{ Ом.}$$

Сопротивление R_{B2} .

$$R_{B2} = R_{B1} \cdot \frac{U_{\Pi} - U_{\text{Э}}}{U_{\text{Э}}},$$

$$R_{B2} = 180 \cdot \frac{15 - 1,34}{1,34} = 1830 \text{ Ом.}$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда (приложение 1).

$$R_{B2} = 1,8 \text{ кОм.}$$

1.14 Определяем ток делителя в режиме покоя.

$$I_{\text{Д}} = \frac{U_{\Pi}}{R_{B1} + R_{B2}},$$

$$I_{\text{Д}} = \frac{15}{1800 + 180} = 7,58 \text{ мА.}$$

1.15 Определяем максимальную амплитуду выходного напряжения.

$$U_{m \text{ Вых}} = \frac{U_{\text{ВЫХ MAX}} - U_{\text{ВЫХ MIN}}}{2},$$

$$U_{m \text{ Вых}} = \frac{12,74 - 1,95}{2} = 5,40 \text{ В}$$

1.16. Определяем емкость разделительных конденсаторов.

Угловая частота среза

$$\omega_{\text{ср}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{ср}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^3 = 12566 \text{ рад/с.}$$

Величины емкостей конденсаторов

$$C1 = \frac{1}{\omega_{\text{ср}} \cdot R_{\text{ВХ}}} = \frac{1}{12566 \cdot 100} = 0,8 \text{ мкФ.}$$

$$C2 = \frac{1}{\omega_{\text{ср}} \cdot R_{\text{Н}}} = \frac{1}{12566 \cdot 10000} = 8 \text{ нФ.}$$

Принимаем стандартное значение емкости из ряда (приложение 1).

$$C1 = 0,82 \text{ мкФ.}$$

$$C2 = 8,2 \text{ нФ.}$$

2. Выбор типов резисторов и конденсаторов входящих в состав схемы

2.1 Определяем мощности резисторов.

$$P_{R_{B1}} = I_D^2 \cdot R_{B1} = (7,58 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 180 = 0,010 \text{ Вт.}$$

$$P_{R_{B2}} = I_D^2 \cdot R_{B2} = (7,58 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1800 = 0,103 \text{ Вт.}$$

$$P_{R_K} = I_{K_{MAX}}^2 \cdot R_K = (18,47 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 750 = 0,256 \text{ Вт.}$$

$$P_{R_{Э}} \approx I_{K_{MAX}}^2 \cdot R_{Э} = (18,47 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 62 = 0,021 \text{ Вт.}$$

2.2 Выбираем типы резисторов

R_K тип МЛТ – 0,5;

R_{B2} тип МЛТ – 0,25;

$R_{Э}$ и R_{B1} тип МЛТ – 0,125.

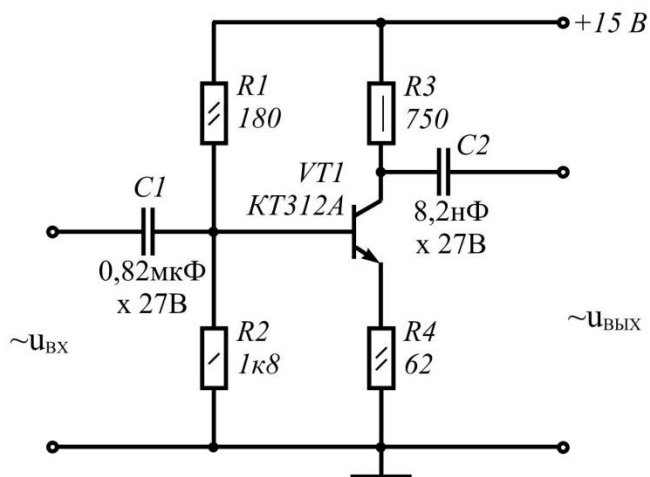
2.3 Выбираем типы конденсаторов

$C1$ тип К73 – 10,

$C2$ тип К73 – 10 с рабочим напряжением 27 В.

3. Составление принципиальной схемы устройства с указанием номинальных значений электрических величин и перечня элементов

Пример оформления схемы электрической принципиальной усилителя переменного тока представлен на рисунке 3.9



Зона	Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание				
	C1	Конденсатор К73-10-0,82мкФ x 27В	1					
	C2	Конденсатор К73-10-8,2нФ x 27В	1					
	R1	Резистор МЛТ-0,125-к18±5%	1					
	R2	Резистор МЛТ-0,25-1к8±5%	1					
	R3	Резистор МЛТ-0,5-к75±5%	1					
	R4	Резистор МЛТ-0,125-62R±5%	1					
	VT1	Транзистор КТ312А	1					
140604.08.123.32.32 Э3								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Усилитель переменного тока на биполярном транзисторе Схема электрическая принципиальная	Литера	Масса	Масшт.
Разраб.		Иванов И.И.	Х	20.12		у	—	—
Пров.		Терентьев О.В.				Лист	Листов 1	
Т.контр.						Филиал ЮУрГУ в г. Златоусте кафедра ЭАПП группа НЗД-300		
Реценз.								
Н.контр.								
Утв.								

Формат А4

Рисунок 3.9 - Пример оформления схемы усилителя переменного тока

3.5 Практическое задание № 5. Расчет трехкаскадного усилителя переменного тока с RC – связью

На основании принципиальной электрической схемы, изображенной на рисунке 3.10, с заданными параметрами, представленными в таблице 3.6, требуется:

- 1) рассчитать трехкаскадный усилитель, определить величины емкостей конденсаторов, сопротивления резисторов и выбрать типы транзисторов;
- 2) выбрать типы резисторов и конденсаторов входящих в состав схемы;
- 3) составить принципиальную схему устройства с указанием номинальных значений электрических величин и перечень элементов.

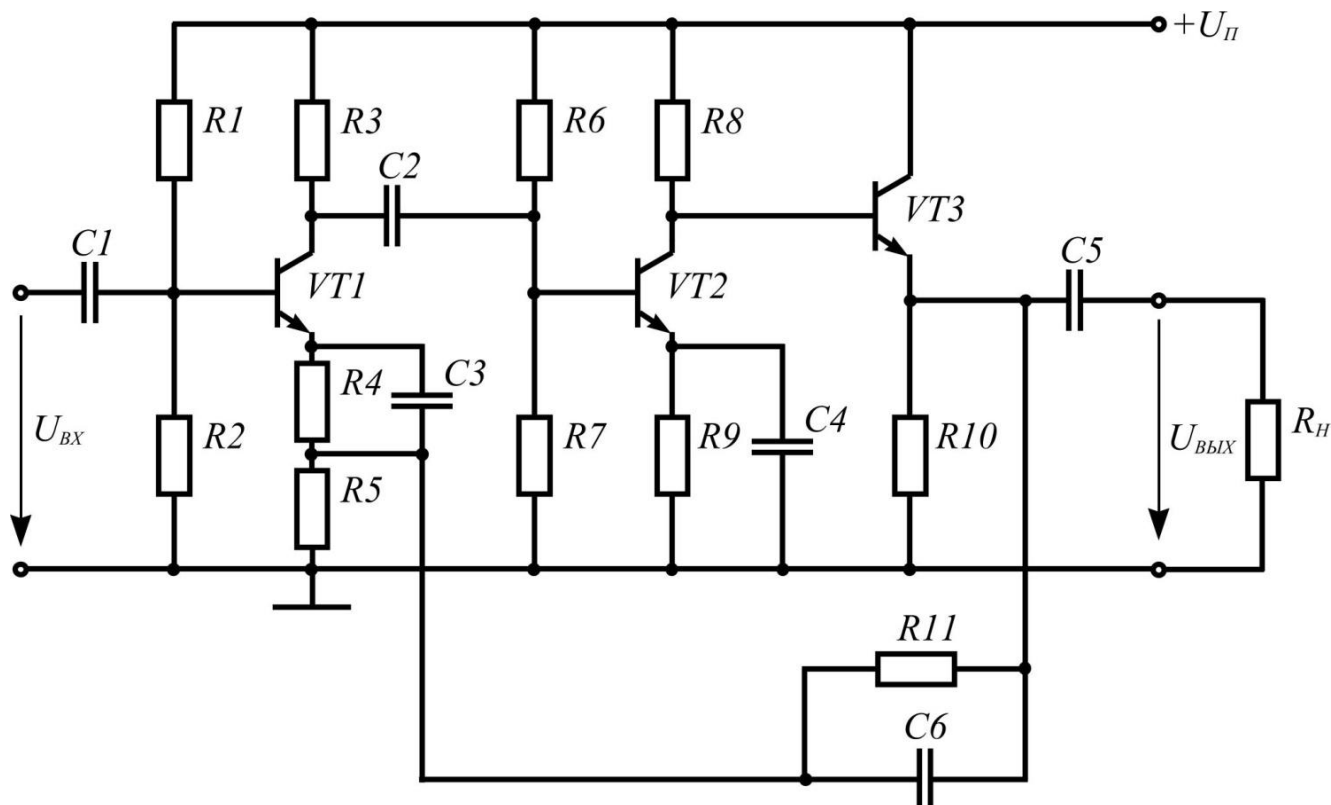


Рисунок 3.10 - Трехкаскадный усилитель переменного тока с RC – связью

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица 3.6 - Исходные данные к задаче «Расчет трехкаскадного усилителя переменного тока с RC – связью»

№ варианта	Выбирается по первой цифре варианта			Выбирается по второй цифре варианта		
	напряжение питания $U_{п}, В$	амплитуда выходного напряжения $U_m, В$	нижняя граница полосы пропускания частот $f_H, Гц$	верхняя граница полосы пропускания частот $f_B, кГц$	сопротивление нагрузки $R_H, Ом$	Суммарный коэффициент усиления $K_{U\Sigma}$
1	40	8	10	100	82	100
2	40	8	20	200	82	100
3	40	7	30	300	68	100
4	40	7	40	400	68	100
5	40	6	10	100	51	100
6	40	6	20	200	51	100
7	40	5	30	300	43	100
8	40	5	40	400	43	100
9	35	8	10	100	82	80
10	35	8	20	200	82	80
11	35	7	30	300	68	80
12	35	7	40	400	68	80
13	35	6	10	100	51	80
14	35	6	20	200	51	80
15	35	5	30	300	43	80
16	35	5	40	400	43	80
17	30	8	10	100	82	60
18	30	8	20	200	82	60
19	30	7	30	300	68	60
20	30	7	40	400	68	60
21	30	6	10	100	51	60
22	30	6	20	200	51	60
23	30	5	30	300	43	60
24	30	5	40	400	43	60
25	25	8	10	100	82	40
26	25	8	20	200	82	40
27	25	7	30	300	68	40
28	25	7	40	400	68	40
29	25	6	10	100	51	40
30	25	6	20	200	51	40
31	25	5	30	300	43	40
32	25	5	40	400	43	40

Пример расчета

На основании принципиальной электрической схемы, изображенной на рисунка 3.11, с заданными параметрами, представленными в таблице 3.7, требуется:

- 1) рассчитать трехкаскадный усилитель, определить величины емкостей конденсаторов, сопротивления резисторов и выбрать типы транзисторов;
- 2) выбрать типы резисторов и конденсаторов входящих в состав схемы;
- 3) составить принципиальную схему устройства с указанием номинальных значений электрических величин и перечень элементов.

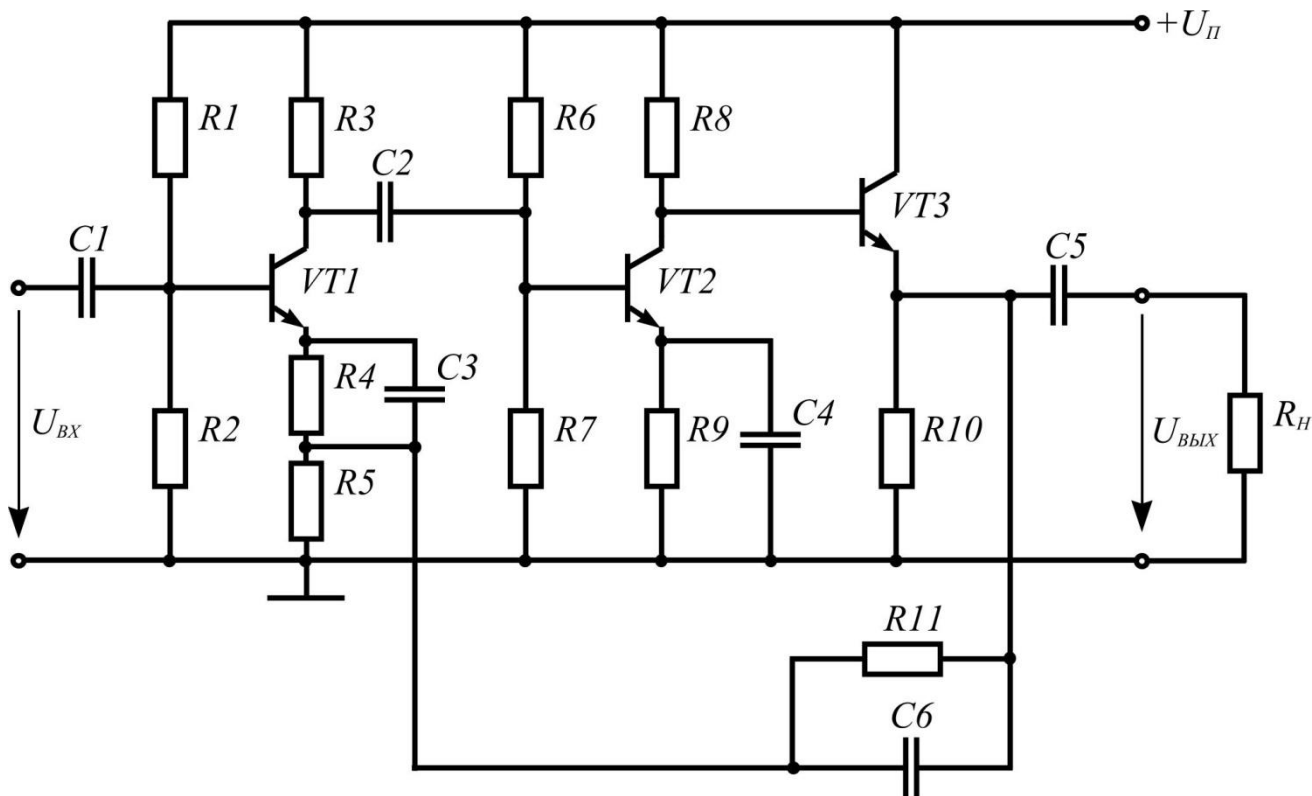


Рисунок 3.11 - Трехкаскадный усилитель переменного тока с RC -связью

Таблица 3.7 - Исходные данные к задаче «Расчет трехкаскадного усилителя переменного тока с RC – связью»

Напряжение питания $U_{П}, В$	Амплитуда выходного напряжения $U_m, В$	Нижняя граница полосы пропускания частот $f_H, Гц$	Верхняя граница полосы пропускания частот $f_B, кГц$	Сопротивление нагрузки $R_H, Ом$	Суммарный коэффициент усиления $K_{U\Sigma}$
20	7	20	20	51	100

1. Расчет трехкаскадного усилителя, определение величины емкости конденсаторов, сопротивлений резисторов и выбор типов транзисторов.

1.1 Рассчитаем каскад на транзисторе $VT3$. Максимальный эмиттерный ток транзистора $VT3$ определим в предположении, что на рабочей частоте резисторы R_H и $R10$ включены параллельно.

$$I_3^{VT1} = 2 \cdot U_m \cdot \left(\frac{2}{R_H}\right),$$

$$I_3^{VT1} = 2 \cdot 7 \cdot \left(\frac{2}{51}\right) = 0,549 \text{ А.}$$

Тогда транзистор VT3 должен отвечать следующим требованиям:

$$\begin{cases} I_{K \text{ макс доп}} \geq I_3^{VT1} \\ U_{KЭ \text{ макс доп}} \geq U_{\Pi} \\ P_K \geq \frac{(U_{\Pi} - U_m)^2}{R_H} \\ f_{гр} \geq f_B \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{K \text{ макс доп}} \geq 0,549 \text{ А} \\ U_{KЭ \text{ макс доп}} \geq 20 \text{ В} \\ P_K \geq \frac{(20 - 7)^2}{51} = 3,31 \text{ Вт} \\ f_{гр} \geq 20 \text{ кГц} \end{cases}$$

Исходя из требований, выбираем транзистор VT3 типа КТ815А со следующими параметрами:

максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ \text{ макс доп}}^{VT3} = 40 \text{ В}$;

максимально допустимый ток коллектора $I_{K \text{ макс доп}}^{VT3} = 1,5 \text{ А}$;

максимальная рассеиваемая мощность на коллекторном переходе транзистора $P_K^{VT3} = 10 \text{ Вт}$;

граничная рабочая частота $f_{гр}^{VT3} = 5 \text{ МГц}$;

коэффициент передачи по току $h_{213}^{VT3} = 40$;

напряжение насыщения база-эмиттер $U_{БЭ}^{VT3} = 0,8 \text{ В}$.

Коэффициент нестабильности, в реальных схемах усилителей обычно лежит в диапазоне 2...5, принимаем $S_i = 3$.

Падение напряжения на резисторе R9 принимаем равным 10% от напряжения питания $U_{R9} = 2 \text{ В}$.

Определяем величину сопротивления R10

$$R10 = \left[\frac{(U_{\Pi} - U_{R9} - U_{БЭ}^{VT3} - 2 \cdot U_m) \cdot (h_{213}^{VT3} + 1)}{2 \cdot U_m \cdot (S_i - 1)} - 1 \right] \cdot R_H,$$

$$R10 = \left[\frac{(20 - 2 - 0,8 - 2 \cdot 7) \cdot (40 + 1)}{2 \cdot 7 \cdot (3 - 1)} - 1 \right] \cdot 51 = 188 \text{ Ом.}$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда.

$$R10 = 180 \text{ Ом.}$$

1.2 Рассчитаем каскад на транзисторе VT2.

Определяем величину сопротивления R8.

$$R8 = \frac{(U_{\Pi} - U_{R9} - U_{БЭ}^{VT3} - 2 \cdot U_m) \cdot (h_{213}^{VT3} + 1) \cdot R_H \cdot R10}{2 \cdot U_m \cdot (R_H + R10)},$$
$$R8 = \frac{(20 - 2 - 0,8 - 2 \cdot 7) \cdot (40 + 1) \cdot 51 \cdot 180}{2 \cdot 7 \cdot (51 + 180)} = 372 \text{ Ом.}$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда (приложение 1).

$$R8 = 360 \text{ Ом.}$$

Ток коллектора в режиме покоя транзистора VT2.

$$I_{КП}^{VT2} = \frac{(U_{\Pi} - U_{R9} - U_{БЭ}^{VT3} - U_m)}{R8},$$
$$I_{КП}^{VT2} = \frac{(20 - 2 - 0,8 - 7)}{360} = 28,3 \text{ мА.}$$

Определяем величину сопротивления R9.

$$R9 = \frac{U_{R9}}{I_{КП}^{VT2}},$$
$$R9 = \frac{2}{0,0283} = 70,7 \text{ Ом.}$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда (приложение 1).

$$R9 = 68 \text{ Ом.}$$

Транзистор VT2 должен отвечать следующим требованиям:

$$\begin{cases} I_{К \text{ макс доп}} \geq \frac{U_{\Pi}}{R8} \\ U_{КЭ \text{ макс доп}} \geq U_{\Pi}; \\ P_{К} \geq I_{КП}^{VT2} \cdot U_m \\ f_{гр} \geq f_{В} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_{K \max \text{ доп}} \geq \frac{20}{360} = 55,6 \text{ мА} \\ U_{KЭ \max \text{ доп}} \geq 20 \text{ В} \\ P_K \geq 0,0283 \cdot 7 = 198 \text{ мВт} \\ f_{гр} \geq 20 \text{ кГц} \end{cases}.$$

Исходя из требований, выбираем транзистор VT2 типа КТ503Б со следующими параметрами:

максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ \max \text{ доп}}^{VT2} = 25 \text{ В}$;
 максимально допустимый ток коллектора $I_{K \max \text{ доп}}^{VT2} = 150 \text{ мА}$;
 максимальная рассеиваемая мощность на коллекторном переходе транзистора $P_K^{VT2} = 350 \text{ мВт}$;
 граничная рабочая частота $f_{гр}^{VT2} = 5 \text{ МГц}$;
 коэффициент передачи по току $h_{21Э}^{VT2} = 80$;
 напряжение насыщения база-эмиттер $U_{БЭ}^{VT2} = 0,75 \text{ В}$.
 Входное сопротивление каскада усилителя собранного на транзисторе VT2.

$$\begin{aligned} R_{BХ}^{VT2} &= R9 \cdot (S_i + 1), \\ R_{BХ}^{VT2} &= 68 \cdot (3 + 1) = 272 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Напряжение на базе транзистора VT2.

$$\begin{aligned} U_B^{VT2} &= U_{R9} + U_{БЭ}^{VT2}, \\ U_B^{VT2} &= 2 + 0,75 = 2,75 \text{ В}. \end{aligned}$$

Сопротивления резисторов делителя R6 и R7.

$$\begin{aligned} R7 &= \frac{R_{BХ}^{VT2} \cdot U_{\Pi}}{U_{\Pi} - U_B^{VT2}}, \\ R7 &= \frac{272 \cdot 20}{20 - 2,75} = 315 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда.

$$\begin{aligned} R7 &= 330 \text{ Ом}. \\ R6 &= \frac{U_{\Pi} - U_B^{VT2}}{U_B^{VT2}} \cdot R7, \\ R6 &= \frac{20 - 2,75}{2,75} \cdot 330 = 2070 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Принимаем стандартное значение сопротивления из ряда.

$$R6 = 2,0 \text{ кОм}.$$

Принимаем $R3 = 1 \text{ кОм}$.

Ток коллектора в режиме покоя транзистора VT1.

$$I_{K\Pi}^{VT1} = \frac{(U_{\Pi} - \frac{U_{\Pi}}{2})}{R3},$$
$$I_{K\Pi}^{VT1} = \frac{(20 - \frac{20}{2})}{1000} = 10 \text{ мА}.$$

Транзистор VT1 должен отвечать следующим требованиям:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{K \text{ макс доп}} \geq \frac{U_{\Pi}}{R3} \\ U_{KЭ \text{ макс доп}} \geq U_{\Pi}; \\ P_K \geq I_{K\Pi}^{VT1} \cdot \frac{U_{\Pi}}{2} \\ f_{гр} \geq f_B \end{array} \right.;$$
$$\left\{ \begin{array}{l} I_{K \text{ макс доп}} \geq \frac{20}{1000} = 20 \text{ мА} \\ U_{KЭ \text{ макс доп}} \geq 20 \text{ В} \\ P_K \geq 0,01 \cdot \frac{20}{2} = 100 \text{ мВт} \\ f_{гр} \geq 20 \text{ кГц} \end{array} \right. .$$

Исходя из требований, выбираем транзистор VT1 типа КТ315Б со следующими параметрами:

максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ \text{ макс доп}}^{VT1} = 20 \text{ В}$;

максимально допустимый ток коллектора $I_{K \text{ макс доп}}^{VT1} = 100 \text{ мА}$;

максимальная рассеиваемая мощность на коллекторном переходе транзистора $P_K^{VT1} = 150 \text{ мВт}$;

граничная рабочая частота $f_{гр}^{VT1} = 250 \text{ МГц}$;

коэффициент передачи по току $h_{21Э}^{VT1} = 50$;

напряжение насыщения база-эмиттер $U_{БЭ}^{VT1} = 0,75 \text{ В}$.

Ток базы в режиме покоя транзистора VT1.

$$I_{B\Pi}^{VT1} = \frac{I_{K\Pi}^{VT1}}{h_{21Э}^{VT1}},$$
$$I_{B\Pi}^{VT1} = \frac{0,01}{50} = 0,2 \text{ мА}.$$

Ток делителя на резисторах R1 и R2.

$$I_{ДЕЛ}^{VT1} = 10 \cdot I_{БП}^{VT1} = 2 \text{ мА.}$$

Для определения сопротивлений $R1, R2$ и сопротивления в цепи эмиттера R_3^{VT1} составим систему уравнений.

$$\begin{cases} R1 + R2 = \frac{U_{П}}{I_{ДЕЛ}^{VT1}} \\ \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = R_3^{VT1} \cdot (S_i - 1) \\ \frac{U_{П} \cdot R2}{R1 + R2} = U_{БЭ}^{VT1} + I_{КП}^{VT1} \cdot R_3^{VT1} \end{cases} ,$$

$$\begin{cases} R1 + R2 = \frac{20}{0,002} = 10000 \\ \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = R_3^{VT1} \cdot (3 - 1) \\ \frac{20 \cdot R2}{R1 + R2} = 0,75 + 0,01 \cdot R_3^{VT1} \end{cases} .$$

Решая систему трех уравнений относительно неизвестных сопротивлений, определяем их величины. Принимаем стандартные значения сопротивлений $R1$ и $R2$ из ряда (приложение 1).

$$\begin{aligned} R1 &= 7,5 \text{ кОм.} \\ R2 &= 2,4 \text{ кОм.} \\ R_3^{VT1} &= 390 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Для введения общей цепи отрицательной обратной связи сопротивление R_3^{VT1} разделяем в соотношении $\approx 1:10$. При этом получаем

$$\begin{aligned} R4 &= 360 \text{ Ом.} \\ R5 &= 30 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Коэффициент усиления каскада на транзисторе VT1 по переменному току.

$$K_U^{VT1} \approx \frac{R_H^{VT1} \cdot R3}{(R_H^{VT1} + R3) \cdot R5'}$$

$$K_U^{VT1} \approx \frac{139 \cdot 1000}{(139 + 1000) \cdot 30} = 4,1.$$

Входное сопротивление усилителя по переменному току.

$$R_{ВХ} = \frac{R1 \cdot R2 \cdot R5 \cdot h_{21Э}^{VT1}}{R1 \cdot R2 + R1 \cdot R5 \cdot h_{21Э}^{VT1} + R2 \cdot R5 \cdot h_{21Э}^{VT1}}$$

$$R_{ВХ} = \frac{7500 \cdot 2400 \cdot 30 \cdot 50}{7500 \cdot 2400 + 7500 \cdot 30 \cdot 50 + 2400 \cdot 30 \cdot 50} = 822 \text{ Ом}$$

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Принимаем стандартные значения емкостей конденсаторов $C1$ и $C2$ из ряда.

$$\begin{aligned}C1 &= 10 \text{ мкФ.} \\C2 &= 56 \text{ мкФ.} \\C5 &= 160 \text{ мкФ.}\end{aligned}$$

1.5 Рассчитаем цепь общей отрицательной обратной связи.

Суммарный коэффициент усиления усилителя без цепи отрицательной обратной связи.

$$\begin{aligned}K_U &= K_U^{VT1} \cdot K_U^{VT2}, \\K_U &= 4,1 \cdot 86,5 = 354,7.\end{aligned}$$

Требуемый коэффициент усиления $K_{U\Sigma} = 100$. Тогда коэффициент передачи цепи обратной связи определим по формуле:

$$\begin{aligned}K_{ООС} &= \frac{K_U - K_{U\Sigma}}{K_U \cdot K_{U\Sigma}}, \\K_{ООС} &= \frac{354,7 - 100}{354,7 \cdot 100} = 7,18 \cdot 10^{-3}.\end{aligned}$$

Определим сопротивление в цепи обратной связи.

$$\begin{aligned}R11 &= \frac{R5}{K_{ООС}}, \\R11 &= \frac{30}{7,18 \cdot 10^{-3}} = 4180 \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Принимаем $R11 = 4,3 \text{ кОм}$.

Определим величину емкости в цепи обратной связи.

$$\begin{aligned}C6 &= \frac{1}{R11 \cdot 2\pi \cdot f_B}, \\C6 &= \frac{1}{4300 \cdot 2\pi \cdot 20000} = 1,85 \text{ нФ.}\end{aligned}$$

Принимаем стандартное значение емкости конденсатора $C6$ из ряда.

$$C6 = 1,8 \text{ нФ.}$$

2. Выбор типов резисторов и конденсаторов входящих в состав схемы

2.1 Определяем мощности резисторов.

$$\begin{aligned}P_{R1} &= (I_{ДЕЛ}^{VT1})^2 \cdot R1 = (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7500 = 30 \text{ мВт.} \\P_{R2} &= (I_{ДЕЛ}^{VT1})^2 \cdot R2 = (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2400 = 9,6 \text{ мВт.}\end{aligned}$$

$$P_{R3} = (I_{K\Pi}^{VT1})^2 \cdot R3 = (10 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1000 = 0,1 \text{ Вт.}$$

$$P_{R4} = (I_{K\Pi}^{VT1})^2 \cdot R4 = (10 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 360 = 36 \text{ мВт.}$$

$$P_{R5} = (I_{K\Pi}^{VT1})^2 \cdot R5 = (10 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 30 = 3 \text{ мВт.}$$

$$P_{R6} = (I_{ДЕЛ}^{VT2})^2 \cdot R6 = (8,58 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2000 = 0,15 \text{ Вт.}$$

$$P_{R7} = (I_{ДЕЛ}^{VT2})^2 \cdot R7 = (8,58 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 330 = 24 \text{ мВт.}$$

$$P_{R8} = (I_{K\Pi}^{VT2})^2 \cdot R8 = (28,3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 360 = 0,29 \text{ Вт.}$$

$$P_{R9} = (I_{K\Pi}^{VT2})^2 \cdot R9 = (28,3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 68 = 54 \text{ мВт.}$$

$$P_{R10} = \frac{(U_{\Pi})^2}{R10} = \frac{(20)^2}{180} = 2,2 \text{ Вт.}$$

2.2 Выбираем типы резисторов

$R1, R2, R4, R5, R7, R9$ и $R11$ тип МЛТ – 0,125;

$R3$ и $R6$ тип МЛТ – 0,25;

$R8$ тип МЛТ – 0,5;

$R10$ тип МЛТ – 5.

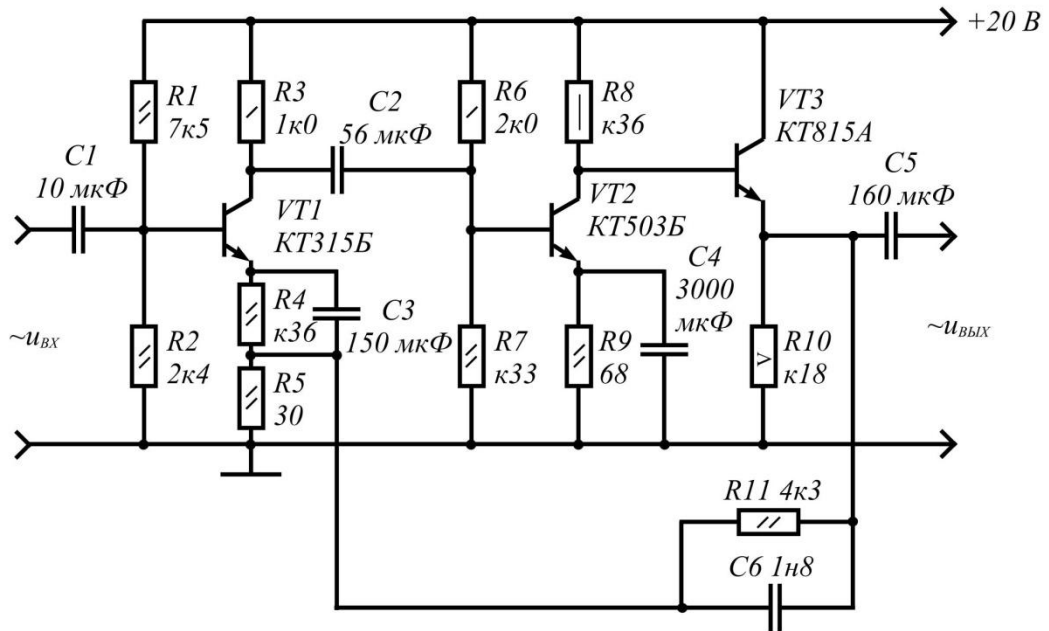
2.3 Выбираем типы конденсаторов

Рабочее напряжение конденсаторов примем на уровне $27 \text{ В} > U_{\Pi}$. Все конденсаторы типа К73 – 10.

3. Составление принципиальной схемы устройства с указанием номинальных значений электрических величин и перечня элементов

Пример оформления схемы электрической принципиальной трехкаскадного усилителя переменного тока представлен на рисунке 3.12.

Пример оформления перечня элементов трехкаскадного усилителя переменного тока представлен на рисунке 3.13.



					140604.08.123.32.32 ЭЗ		
					Усилитель трехкаскадный переменного тока с RC-связью Схема электрическая принципиальная		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Литера	Масса	Масшт.
Разраб.		Иванов И.И.	Х	20.12	у	—	—
Пров.		Терентьев О.В.			Лист	Листов 1	
Т.контр.					Филиал ЮУрГУ в г. Златоусте кафедра ЭАПП группа НЗД-300		
Реценз.							
Н.контр.							
Утв.							

Формат А4

Рисунок 3.12 - Пример оформления схемы трехкаскадного усилителя переменного тока

3.6 Практическое задание №6 Расчет гистерезисной схемы сравнения

На основании принципиальной электрической схемы, изображенной на рисунке 3.14, с заданными параметрами, представленными в таблице 3.8, требуется:

- 1) рассчитать гистерезисный компаратор, определить величины сопротивлений резисторов с учетом допустимых отклонений порогов срабатывания и отпускания;
- 2) построить передаточную характеристику компаратора;
- 3) построить временную диаграмму работы устройства при воздействии на входе компаратора синусоидального напряжения с амплитудой 7 В.

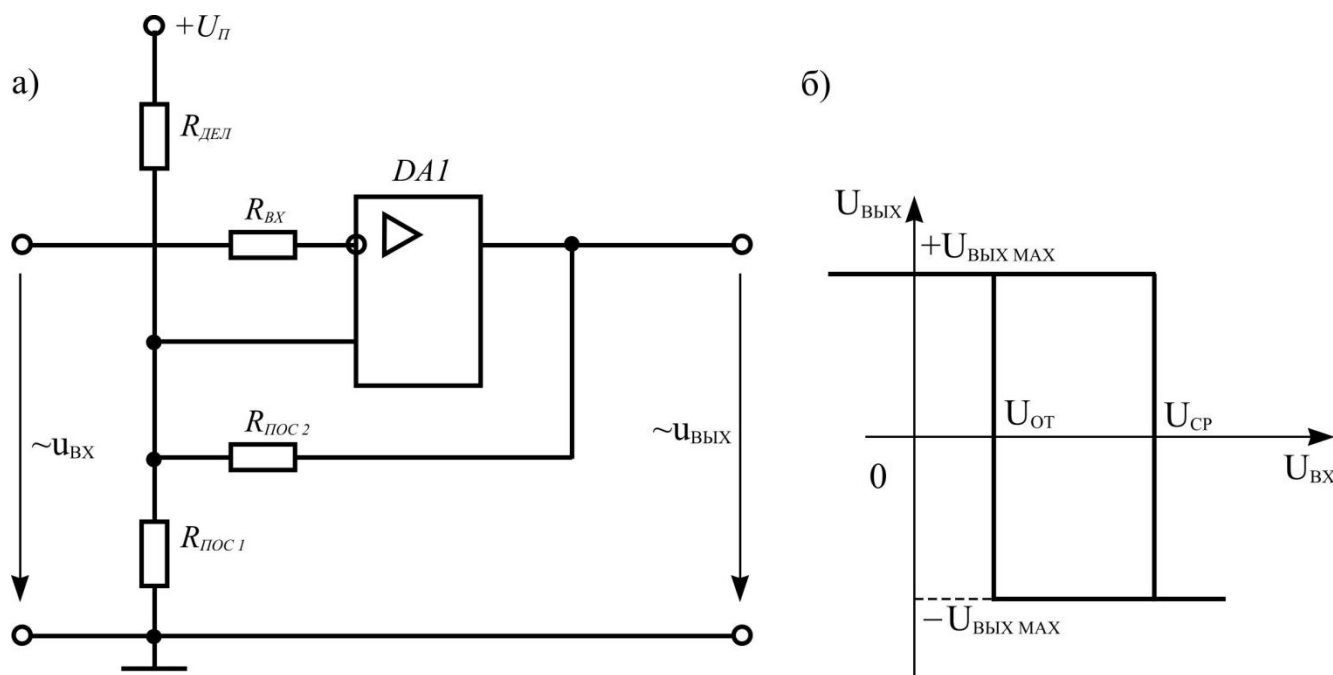


Рисунок 3.14 - Гистерезисная схема сравнения с положительным смещением:

- а) принципиальная схема устройства;
- б) передаточная характеристика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблица 3.8 - Исходные данные к задаче «Расчет гистерезисного компаратора»

№ варианта	Выбирается по первой цифре варианта			Выбирается по второй цифре варианта		
	напряжение питания $U_{П}, В$	максимальное выходное напряжение $U_{ВЫХМАХ}, В$	напряжение срабатывания $U_{СР}, В$	напряжение отпускания $U_{ОТ}, В$	суммарное сопротивление схемы $R_{КОР}, кОм$	допустимые отклонения пороговых напряжений $\Delta U, В$
1	18	11	3,2	1,0	43	0,1
2	18	11	3,0	1,0	43	0,2
3	18	10	2,8	1,0	47	0,3
4	18	10	2,6	1,0	47	0,4
5	18	9	3,2	1,0	51	0,1
6	18	9	3,0	1,0	51	0,2
7	18	8	2,8	1,0	56	0,3
8	18	8	2,6	1,0	56	0,4
9	16	11	3,2	1,2	43	0,1
10	16	11	3,0	1,2	43	0,2
11	16	10	2,8	1,2	47	0,3
12	16	10	2,6	1,2	47	0,4
13	16	9	3,2	1,2	51	0,1
14	16	9	3,0	1,2	51	0,2
15	16	8	2,8	1,2	56	0,3
16	16	8	2,6	1,2	56	0,4
17	15	11	3,2	1,4	43	0,1
18	15	11	3,0	1,4	43	0,2
19	15	10	2,8	1,4	47	0,3
20	15	10	2,6	1,4	47	0,4
21	15	9	3,2	1,4	51	0,1
22	15	9	3,0	1,4	51	0,2
23	15	8	2,8	1,4	56	0,3
24	15	8	2,6	1,4	56	0,4
25	12	11	3,2	1,6	43	0,1
26	12	11	3,0	1,6	43	0,2
27	12	10	2,8	1,6	47	0,3
28	12	10	2,6	1,6	47	0,4
29	12	9	3,2	1,6	51	0,1
30	12	9	3,0	1,6	51	0,2
31	12	8	2,8	1,6	56	0,3
32	12	8	2,6	1,6	56	0,4

Пример расчета

На основании принципиальной электрической схемы, изображенной на рисунке 3.14, с заданными параметрами, представленными в таблице 3.9, требуется:

- 1) рассчитать гистерезисный компаратор, определить величины сопротивлений резисторов с учетом допустимых отклонений порогов срабатывания и отпускания;
- 2) построить передаточную характеристику компаратора;
- 3) построить временную диаграмму работы устройства при воздействии на входе компаратора синусоидального напряжения с амплитудой 7 В.

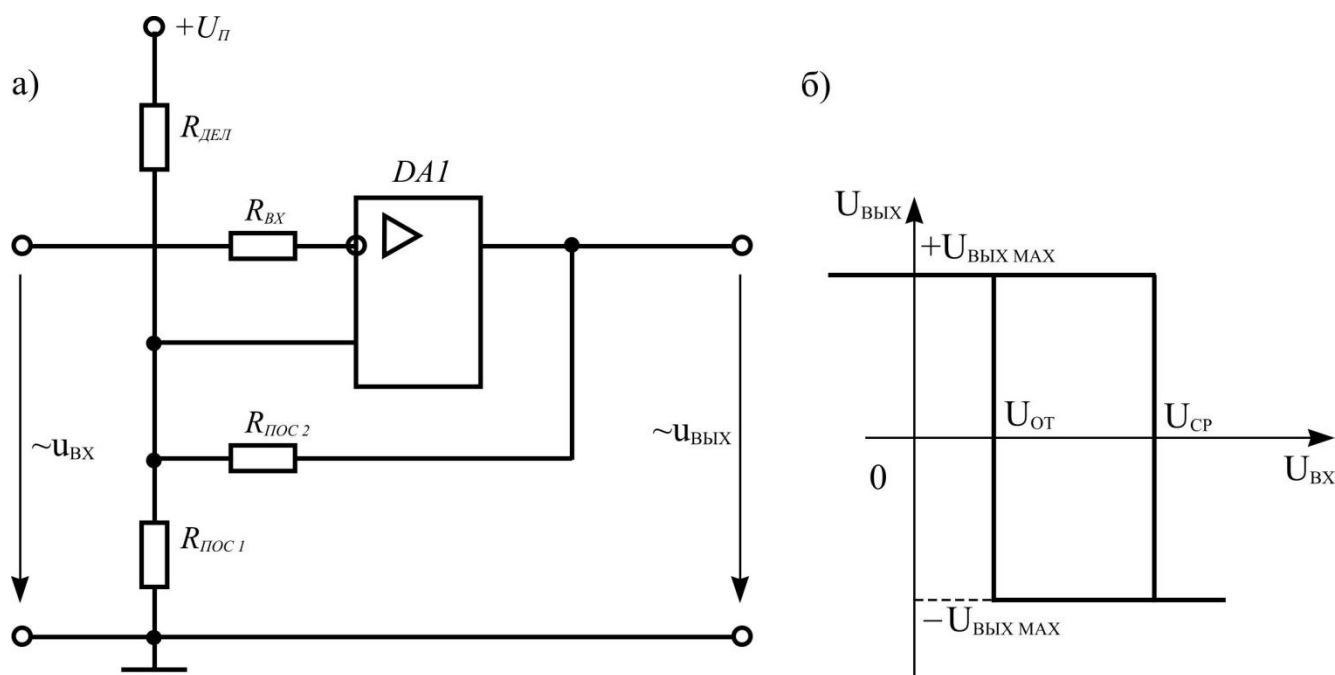


Рисунок 3.14 - Гистерезисная схема сравнения с положительным смещением: а) принципиальная схема устройства; б) передаточная характеристика

Таблица 3.9 - Исходные данные к задаче «Расчет гистерезисного компаратора»

варианта	Выбирается по первой цифре варианта			Выбирается по второй цифре варианта		
	напряжение питания $U_{П}, В$	максимальное выходное напряжение $U_{ВЫХ МАХ}, В$	напряжение срабатывания $U_{СР}, В$	напряжение отпущения $U_{ОТ}, В$	суммарное сопротивление схемы $R_{КОР}, кОм$	допустимые отклонения пороговых напряжений $\Delta U, В$
	12	10	2,4	1,9	5,1	0,1

1. Расчет гистерезисного компаратора, с учетом порогов срабатывания и отпущения

1.1 Для реализации заданных напряжений срабатывания и отпущения в схему стандартного гистерезисного компаратора вводят напряжение смещения.

$$U_{\text{СМ}} = \frac{U_{\text{СР}} + U_{\text{ОТ}}}{2},$$
$$U_{\text{СМ}} = \frac{2,4 + 1,9}{2} = 2,15 \text{ В.}$$

1.2 Определим величину сопротивления делителя.

$$R_{\text{ДЕЛ}} = \frac{U_{\text{П}}}{U_{\text{СМ}}} \cdot R_{\text{КОР}},$$
$$R_{\text{ДЕЛ}} = \frac{12}{2,15} \cdot 5100 = 28,5 \text{ кОм.}$$

Принимаем $R_{\text{ДЕЛ}} = 27 \text{ кОм.}$

Вывод по разделу три.

Разработаны шесть практических заданий по курсу «Физические основы электроники», которые включают около 20 вариантов и содержат пример выполнения задания и итоговые схемы, построенные на основании расчетов.

4. МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ НА ЛАБОРАТОРНОМ КОМПЛЕКСЕ «АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

Для проведения практических работ предлагается методика практических работ. В методике рассмотрены пункты предварительной подготовки, техники безопасности, а также непосредственно лабораторные работы. Описание лабораторной работы включает в себя цель лабораторной работы, программа работы, пояснения к работе, список используемого оборудования, порядок выполнения лабораторной работы, схему для проведения лабораторных работ, контрольные вопросы. Методическое пособие является обязательным минимумом при подготовке студента к проведению работы.

4.1 Практическая работа № 1 «Расчет характеристик инвертирующего и неинвертирующего усилителя»

Цель работы: исследование электронных схем на основе операционного усилителя (далее ОУ), предназначенных для усиления постоянного напряжения или медленно изменяющихся входных сигналов.

Краткие сведения

Операционный усилитель (ОУ) – это высококачественный усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления по интегральной технологии, предназначенный различных операций над аналоговыми величинами при работе в схеме с отрицательной обратной связи (ООС).

Операционный усилитель является усилителем постоянного тока с высокой верхней граничной частотой благодаря очень высокому коэффициенту усиления (десятки и сотни тысяч) и широкому диапазону усиливаемых частот за счёт введения различных обратных связей, позволяет создавать усилительные каскады, реализующие множество функциональных преобразований. Областями применения операционных усилителей является аналоговая техника, аппаратура обработки сигналов, радиоизмерительная техника, а также применение для генерации электрических колебаний различной формы и частоты.[10]

Порядок выполнения работы:

4.1.1 Исследовать схему инвертирующего усилителя

- 1) Собрать схему, представленную на рисунке 4.2. Подключить измерительные приборы и модуль питания к модулю операционные усилители в соответствии со схемой. Внешний вид модуля представлен на Рисунок 4.1.

- 2) Изменяя величину входного напряжения $U_{ВХ} =$ от 1В до 10В, произвести замеры $U_{ВЫХ}$, для нескольких значений $R_{ОС}$. Полученные данные занести в таблицу 3.1.
- 3) На основе полученных данных произвести расчёт $K_{У\text{ инв}}$.

$$K_{У\text{ инв}} = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}, \quad (4.1)$$

где $K_{У\text{ инв}}$ – коэффициент усиления мощности;

$U_{ВЫХ}$ – выходное напряжение тока;

$U_{ВХ}$ – входное напряжение тока.

Результаты расчётов занести в таблицу 4.1.

- 4) Изменяя величину входного напряжения, для нескольких значений $R_{ОС}$, снять амплитудную характеристику $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$. $R_{ОС}$ изменяется путём подключения набора резисторов или их комбинаций. Результаты измерений занести в таблицу 4.2. По данным измерений построить передаточную характеристику.

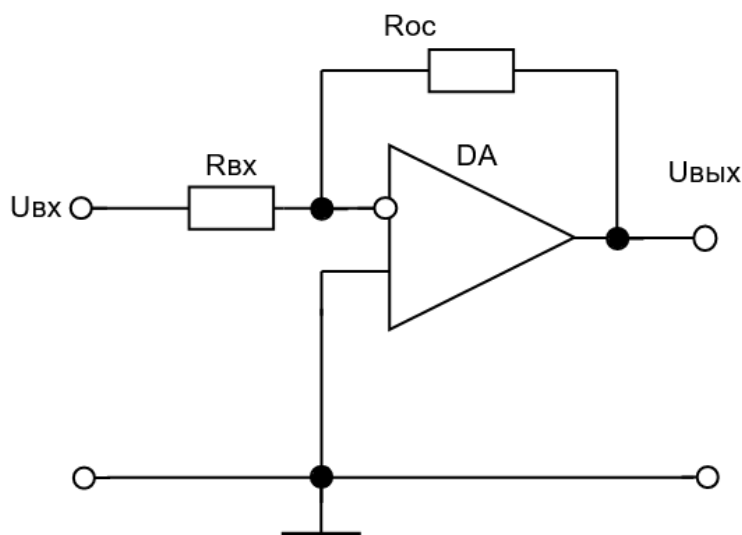


Рисунок 4.2 - Инвертирующий усилитель

Таблица 4.1 - Расчётные данные

$R_{ОС}$	$U_{ВХ}, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$U_{ВЫХ}, В$										
	$K_{У\text{ инв}}$										
$2R_{ОС}$	$U_{ВХ}, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$U_{ВЫХ}, В$										
	$K_{У\text{ инв}}$										
$3R_{ОС}$	$U_{ВХ}, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$U_{ВЫХ}, В$										
	$K_{У\text{ инв}}$										

5) После проведения всех замеров и расчётов, построить передаточную характеристику усилителя. Объяснить результаты.

4.1.2 Исследовать схему неинвертирующего усилителя

- 1) Собрать схему представленную на рисунке 4.3. Подключить вывод делителя напряжения $U_{\text{ВЫХ1}}$ к выводу $U_{\text{ВХ}}$ усилителя.
- 2) Изменяя величину входного напряжения $U_{\text{вх}}$, снять и построить передаточную характеристику усилителя, при различных коэффициентах усиления. Определить границы линейных участков передаточных характеристик и коэффициенты усиления на линейном участке.
- 3) Сравнить полученные результаты с расчётами пункта 4.1.1. Сформулировать выводы о проделанной работе.

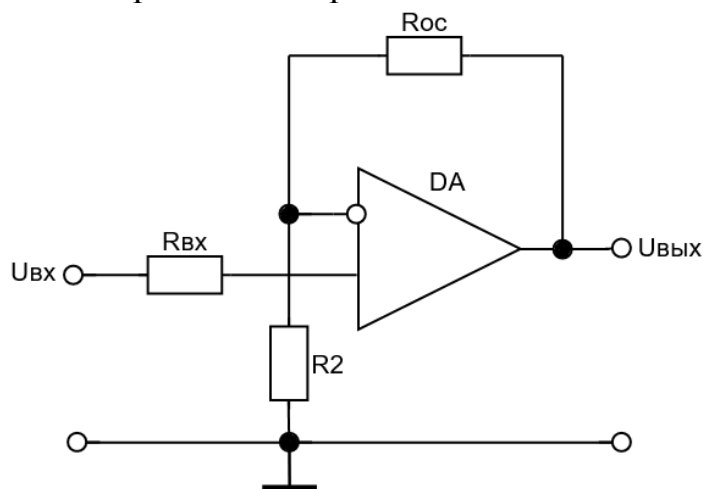


Рисунок 4.3 - Неинвертирующий усилитель

Таблица 4.2 - Расчётные данные

R_{oc}	$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$										
	$K_{u \text{ неинв}}$										
$2R_{oc}$	$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$										
	$K_{u \text{ неинв}}$										
$3R_{oc}$	$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$										
	$K_{u \text{ неинв}}$										

После выполнения данной лабораторной работы произвести проверку выполненной работы в приложении Every Circuit.

Контрольные вопросы:

1. Что такое операционный усилитель?
2. Как определить напряжение на выходе инвертирующего усилителя?
3. Как определить напряжение на выходе неинвертирующего усилителя?
4. Что такое K_u ?

4.2 Практическая работа №2 «Расчет характеристик повторителя напряжения и сумматора напряжений»

Цель работы: изучении свойств и характеристик повторителя напряжения и сумматора напряжений

Краткие сведения

Повторитель постоянного напряжения – это вид усилителя, имеющего высокое входное сопротивление, низкое выходное сопротивление и коэффициент усиления равным единице. Повторители напряжения широко используются в электронных контрольно-измерительных устройствах.

Соединения цепи обратной связи и инвертирующего входа в операционном усилителе называют суммирующим соединением, поскольку напряжение на этом соединении представляет собой сумму входного напряжения и напряжения обратной связи. Операционные усилители устроены так, чтобы напряжение на суммирующем соединении было равно напряжению на инвертирующем входе.

Сумматор напряжений – это устройство, формирующее на выходе напряжение, пропорциональное сумме входных напряжений. [7]

Сумматоры получили широкое применение в вычислительной аналоговой технике, обработке сигналов, телевидении, электроакустики, средствах связи и другие.

Порядок выполнения работы:

4.2.1 Исследование схемы повторителя постоянного напряжения

- 1) Собрать схему в соответствии с приведённой на рисунке 4.4.
- 2) Изменяя величину входного напряжения $U_{вх} =$ от 1В до 10В, произвести замеры $U_{вых}$. Полученные данные занести в таблицу 4.3.
- 3) На основе полученных данных произвести расчёт согласно формуле 3.1, занести данные в таблицу 4.1.
- 4) После проведения замеров и расчётов построить передаточную характеристику повторителя напряжений.

Таблица 4.3 – Расчётные данные

$U_{вх}, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
$U_{вых}, В$										
$K_{и инв}$										

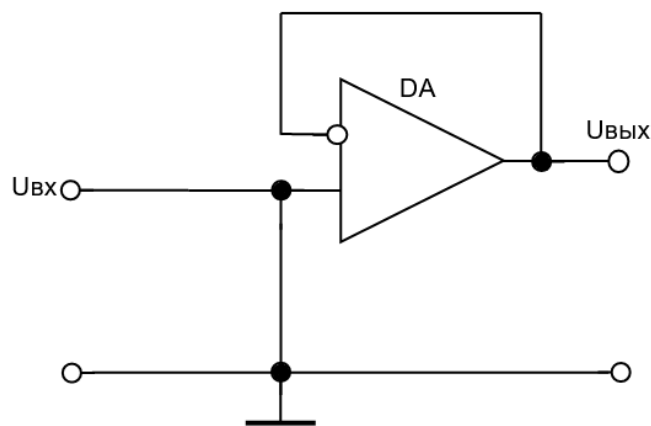


Рисунок 4.4 – Повторитель напряжения

4.2.2 Изучение схемы сумматора напряжений

- 1) Собрать схему сумматора трёх сигналов, представленную на рисунке 4.5. Подключить измерительные приборы и модуль питания к модулю операционные усилители в соответствии со схемой.

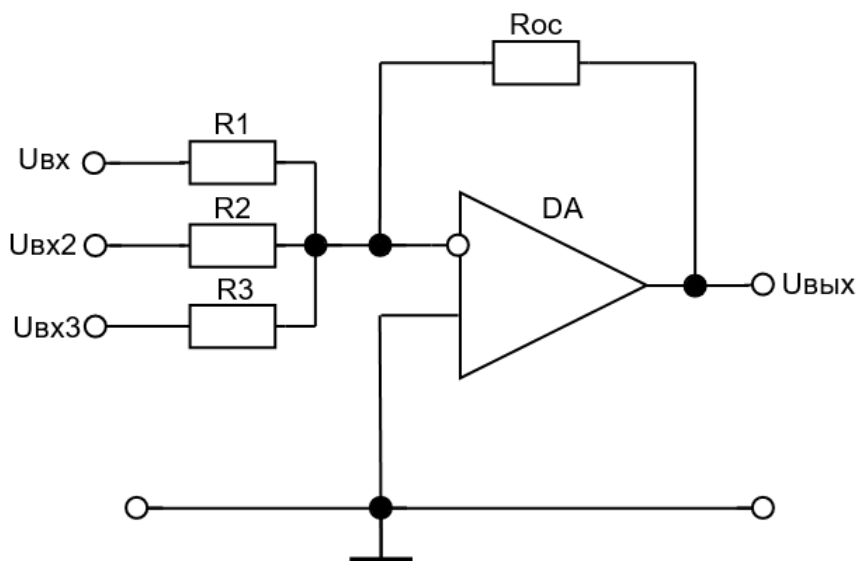


Рисунок 4.5 – Сумматор напряжений

- 2) Для выбранных из таблицы 4.4 значений входных сигналов рассчитать напряжение на выходе сумматора. Для расчёта использовать формулу 4.2.

$$U_{\text{вых}} = - \left(U_{\text{вх1}} \frac{R_{\text{oc}}}{R_1} + U_{\text{вх2}} \frac{R_{\text{oc}}}{R_2} + U_{\text{вх3}} \frac{R_{\text{oc}}}{R_3} \right), \quad (4.2)$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение;

$U_{\text{вх1}}, U_{\text{вх2}}, U_{\text{вх3}}$ – напряжения на входах,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$K_{\text{ст.У}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ.НОМ}}} : \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}, \quad (4.3)$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$, $U_{\text{ВХ}}$ – номинальные значения входного и выходного напряжений, В; $\Delta U_{\text{ВХ}}$, $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ – приращение входного и выходного напряжений.

Коэффициент полезного действия стабилизатора характеризует мощность потерь в нем, является основным энергетическим показателем стабилизатора и определяется следующим выражением:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{вх}}}, \quad (4.4)$$

где $P_{\text{н}}$ – полезная мощность на нагрузке, Вт;

$P_{\text{вх}}$ – входная мощность стабилизатора, Вт.

Мощность на нагрузке немаловажный параметр для выбора стабилизатора и определяется следующим выражением:

$$P_{\text{н}} = I_{\text{ВЫХ}} * U_{\text{ВЫХ}} \quad (4.5)$$

где $I_{\text{ВЫХ}}$ – ток на выходе, А;

$U_{\text{ВЫХ}}$ – выходное напряжение, В.

Порядок выполнения работы:

1) Собрать последовательно схемы, представленные на рисунке 3.7, 3.8. Подключить измерительные приборы к модулю стабилизатора и модуль питания в соответствии со схемой;

2) Изменяя постоянное напряжение на входе схемы $U_{\text{ВХ}}$ от 1 до 10 В, занести показания приборов PV1, PV2, PA1 и PA2 в таблицу 3.6.

По данным измерений рассчитать $K_{\text{ст}}$ и η по формулам (3.3) и (3.4). По значениям таблицы 3.6 построить характеристику $K_{\text{ст}} = f(U_{\text{ВХ}})$ и $\eta = f(U_{\text{ВХ}})$, $K_{\text{ст}} = f(R_{\text{н}})$ и $\eta = f(R_{\text{н}})$, $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$.

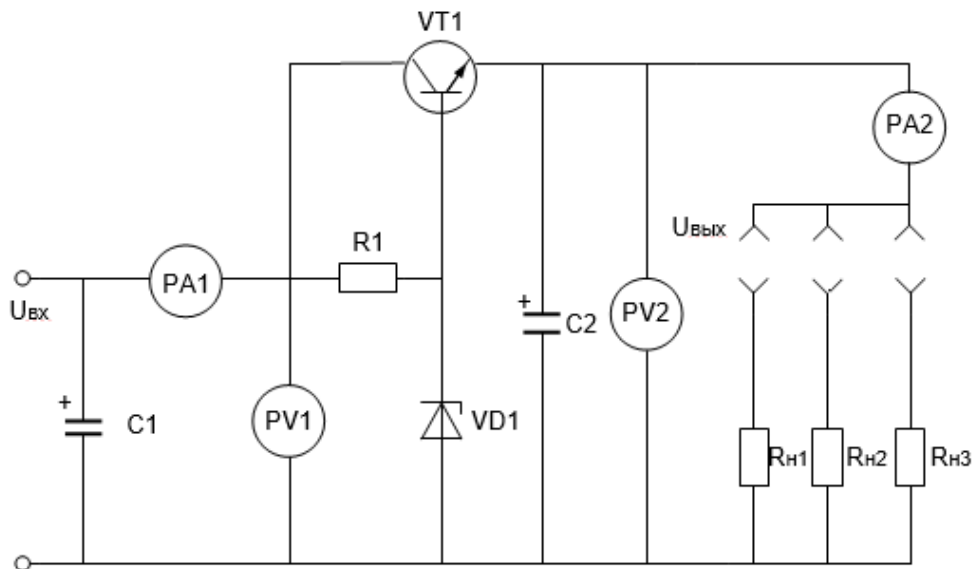


Рисунок 4.7 – Схема параметрического стабилизатора

Таблица 4.6 - Исследование характеристик параметрического стабилизатора

$U_{вх}, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
R_H										
$U_{вых}, В$										
$I_{вх}, А$										
$I_{вых}, А$										
$K_{ст}$										
η										

Таблица 4.7 – Исследование характеристик компенсационного стабилизатора

$U_{вх}, В$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
R_H										
$U_{вых}, В$										
$I_{вх}, А$										
$I_{вых}, А$										
$K_{ст}$										
η										

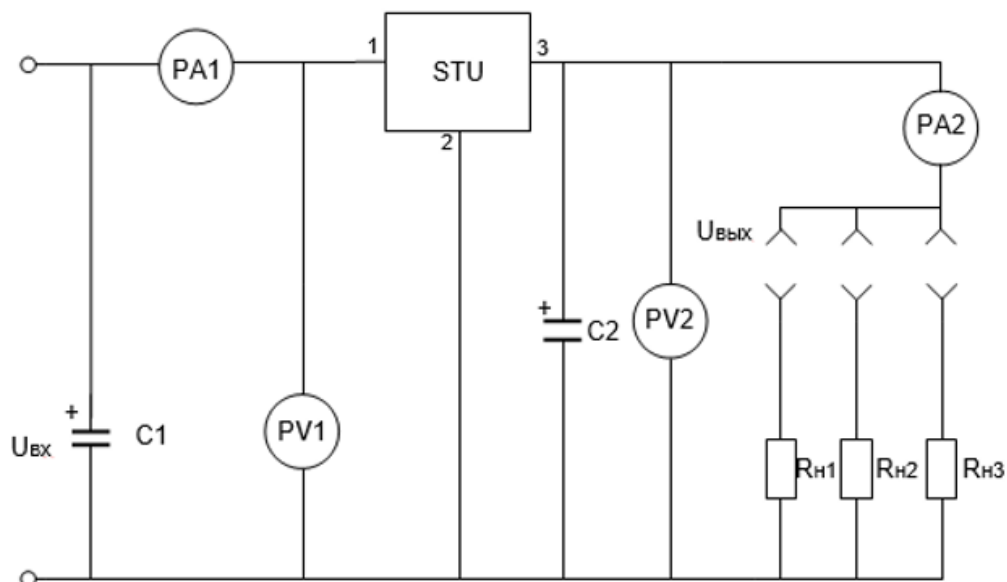


Рисунок 4.8 – Схема компенсационного стабилизатора

Контрольные вопросы:

1. Назначение стабилизатора напряжения и стабилизатора тока, их основные отличия?
2. Что такое коэффициент стабилизации?
3. Перечислите и запишите основные параметры стабилизаторов напряжения?

Вывод по разделу три

В данном разделе были разработаны методические указания для выполнения экспериментального этапа выполнения практических заданий на лабораторном комплексе «Аналоговая электроника». Данный материал предназначен для оптимизации учебного процесса.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

5.1 Исходные положения

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена разработке учебного пособия к практическим работам по дисциплине «Физические -основы электротехники».

Целью выпускной квалификационной работы проекта является повышение качества учебного процесса путем использования разработанного методического лабораторного пособия.

5.2 Расчет технико-экономических показателей

В данном разделе на основе всех расходов связанных с созданием практических работ и разработкой методических указаний необходимо рассчитать полную себестоимость проекта.[19]

Себестоимость определяется по формуле:

$$S = C_m + C_{зп} + C_{есн.} + C_a + C_{пр}, \quad (5.1)$$

где C_m — сырье и материалы;

$C_{зп}$ — затраты на оплату труда;

$C_{есн.}$ — единый социальный налог;

C_a — амортизация;

$C_{пр}$ — прочие затраты.

В выпускной квалификационной работе приведены расчеты материальных затрат.

Составлена смета затрат на разработку методических указаний лабораторного комплекса «Аналоговая электроника» по статьям:

- сырье и материалы;
- заработная плата рабочих;
- единый социальный налог;
- амортизация.

Затраты на материалы и увеличение количества разработанной документации C_m , руб, представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Затраты на материалы и размножение разработанной документации

Наименование продукции	Единица измерения	Количество	Сметная стоимость, руб.
Бумага формата А4	лист	500	280
Распечатывание	картридж	1	2500
Итого, C_m :			2780,00

Исходные данные для построения сетевого графика, приведены в таблице 5.2.

Сетевой график – графическое изображение комплекса взаимосвязанных во времени и пространстве работ. Сетевой график представлен на рисунке 5.1.

Результаты расчета сетевого графика представлены в таблице 5.3

Таблица 5.2 — Данные для построения сетевого графика

Код работы	Содержание работы	Продолжительность выполняемой работы, дн
0-1	Постановка задачи	2
1-2	Подбор программного обеспечения	6
2-3	Экспериментальное подтверждение работоспособности стенда	2
2-4	Разработка лабораторных работ	22
3-4	Обработка экспериментальных данных	2
4-5	Составление методического пособия	10
Итого:		42,0

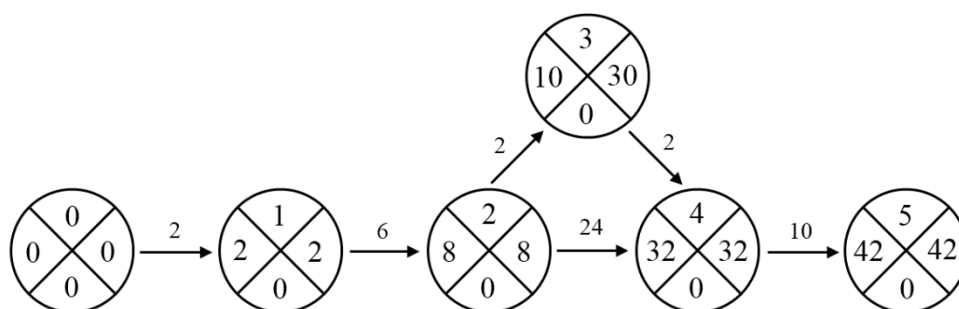


Рисунок 5.1 – Сетевой график

Таблица 5.3 – Результаты расчета сетевого графика

Код работы	0-1	1-2	2-3	2-4	3-4	4-5
Продолжительность работы, дн	2	6	2	22	2	10
Ранний срок начала работы, дн	0	2	8	8	10	32
Поздний срок начала работы, дн	0	2	28	8	30	32
Ранний срок окончания работы, дн	2	8	10	32	12	42
Поздний срок окончания работы, дн	2	8	30	32	32	42

Окончание таблицы 5.3

Код работы	0-1	1-2	2-3	2-4	3-4	4-5
Полный резерв времени, дн	0	0	20	0	20	0
Свободный резерв времени, дн	0	0	0	0	0	0
Коэффициент напряженности работы	1	1	0,4	1	0,4	1

В ходе проведенных расчетов, получили величину максимального по продолжительности пути 0-1-3-4-5 равную 42 дням.

Участвующий в создании учебного пособия разработчик, оклад которого составляет $O_u = 18350$ руб.

Время разработки пособия $T'_{рк}$, мес.

$$T'_{рк} = \frac{T_{рк}}{Д}, \quad (5.2)$$

где $T'_{рк}$ — время, затраченное на разработку всего пособия, дни;
 $Д$ — количество рабочих дней в месяце, $Д = 20$ дней.

$$T'_{рк} = \frac{42}{20} = 2.1 \text{ мес}$$

Основная заработная плата $C_{оз}$, руб.:

$$C_{оз} = O_u \cdot T'_{рк} \cdot (1 + k_{пояс}), \quad (5.3)$$

где $k_{пояс} = 0,15$ - поясной коэффициент.

$$C_{оз} = 18350 \cdot 2,1 \cdot 1,15 = 44315,25.$$

Дополнительная заработная плата персонала $C_{дз}$, руб.

$$C_{дз} = 0,1 \cdot C_{оз}, \quad (5.4)$$

$$C_{дз} = 0,1 \cdot 44315,25 = 4431,52 \text{ руб.}$$

Заработная плата состоит из основной заработной платы и дополнительной

$$З = 44315,25 + 4431,525 = 48746,77 \text{ руб.}$$

Отчисления в пенсионный фонд, рассчитываются по формуле:

$$O_{\text{пф}} = \frac{3 \cdot P_{\text{пс}}}{100}, \quad (5.5)$$

где $O_{\text{пф}}$ – размер отчислений в пенсионный фонд, руб;
 3 – начисленная заработная плата, руб;
 $P_{\text{пс}}$ – процент отчислений в пенсионный фонд, $P_{\text{пс}} = 22\%$.

$$O_{\text{пф}} = \frac{48746.77 \cdot 22\%}{100} = 10724.29 \text{ руб}$$

Отчисления в фонд социального страхования РФ рассчитываются по формуле:

$$O_{\text{сс}} = \frac{3 \cdot P_{\text{сс}}}{100}, \quad (5.6)$$

где $O_{\text{сс}}$ – размер отчислений в фонд социального страхования, руб;
 3 – начисленная заработная плата, руб;
 $P_{\text{сс}}$ – процент отчислений на социальное страхование, $P_{\text{сс}} = 2,9\%$.

$$O_{\text{сс}} = \frac{48746.77 \cdot 2,9\%}{100} = 1413,65 \text{ руб}$$

Отчисления в фонд обязательного медицинского страхования производятся за счет издержек производства и обращения, рассчитываются по формуле:

$$O_{\text{мс}} = \frac{3 \cdot P_{\text{рм}}}{100}, \quad (5.7)$$

где $O_{\text{мс}}$ – отчисления в фонд обязательного медицинского страхования;
 3 – начисленная заработная плата и другие приравненные к ней выплаты;
 $P_{\text{мс}}$ – установленный процент отчислений на обязательное медицинское страхование, $P_{\text{мс}} = 5,1\%$.

$$O_{\text{мс}} = \frac{48746.77 \cdot 5,1}{100} = 2486,08 \text{ руб}$$

Общую сумму отчислений на социальные нужды находим по формуле:

$$O_{\text{сн}} = O_{\text{пф}} + O_{\text{сс}} + O_{\text{мс}}, \quad (5.8)$$

$$O_{\text{сн}} = 10724.29 + 1413,65 + 2486,08 = 14624.02 \text{ руб.}$$

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Виды основных средств и нормы амортизационных отчислений представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 — Виды основных средств и нормы амортизационных отчислений

Виды основных фондов	Годовая норма амортизационных отчислений H_{ai} , %	Балансовая стоимость i -той единицы основных фондов $C_{офи}$, руб.	Амортизационные отчисления, руб.
Мебель	12,5	1200	150
Принтер	14	10000	1400
ПК	14	20000	2800
Итого:			4350

Амортизационные отчисления по отдельным видам основных средств:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{C_{офи} \cdot H_{ai}}{100}, \quad (5.9)$$

где $C_{офи}$ — балансовая стоимость i -ой единицы основных средств, руб;

H_{ai} — годовая норма амортизационных отчислений, %;

n — число видов основных средств, $n = 3$.

$$A = \frac{1200 \cdot 12,5}{100} + \frac{20000 \cdot 14}{100} + \frac{10000 \cdot 14}{100} = 4350 \text{ руб}$$

Амортизационные отчисления по отдельным видам основных фондов A' , рублей за 2,1 месяц.

$$A' = \frac{4350}{12} \cdot 2,1 = 761,25 \text{ руб}$$

Расчёт административно-управленческих затрат C_{ay} на разработку учебного пособия приведена в таблице 4.5.

Таблица 5.5 — Результаты расчета административно-управленческих затрат

Наименование статьи расходов	Время аренды/ работы/ энергопотребления, мес.	Стоимость использования, руб./мес.	Административно-управленческие затраты, руб.
Аренда помещения	2,1	2000	4200,00
Уборка помещения	2,1	650	1365,00

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1 Краткое описание рассматриваемого объекта

В ходе выпускной квалификационной работы рассматриваются практические задания по дисциплине «Физические основы электроники»

Учебно-лабораторный комплекс «Аналоговая электроника» (в комплекс) предназначен для обучения студентов различных специальностей средних специальных и высших учебных заведений, изучающих дисциплины «Физические основы электроники», «Основы радиоэлектроники», «Электротехника и электроника». Комплекс может быть использован также для обучения учащихся профессионально-технических училищ и слушателей отраслевых учебных центров повышения квалификации инженерно-технических работников.

Лабораторные работы должны проводиться в специализированной лабораторий или помещении предназначенном для проведения и обучения студентов ЮУрГУ, для данной дисциплины предназначена аудитория 1-305.

6.2 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Лабораторное помещение в виде прямоугольной формы (6×6,3) площадью 37,8 кв.м., с одним входом. В лаборатории имеется 6 лабораторных стендов за которыми проводятся лабораторные работы.

К вредным и опасным производственным факторам относятся:

а) физические факторы:

- 1) метеорологические факторы: повышенная и пониженная влажность воздуха, пониженная или повышенная температура в помещении; приводит к быстрому утомлению человека, , скорости реакции и снижению внимания;
- 2) светотехнические факторы: мало освещенность рабочего места студента затрудняет длительную и кропотливую работу, вызывает сильное утомление, способствует ухудшению зрения; световые характеристики используемого света влияют на психологическое и физиологическое состояние человека;
- 3) электромагнитные факторы: опасность поражения электрическим током, электромагнитное излучение от компьютера и электрических приборов, повышенный уровень поля радиочастот. Источником электрических полей промышленной частоты являются токоведущие части, питающие компьютеры электроэнергией. Эти факторы негативно влияют сердечно-сосудистую и нервную систему. Это выражается в повышенной утомляемости, снижении качества и количества выполняемых рабочих операций, болях в области сердца, повышению давления и учащению пульса.

б) психофизиологические факторы: физические перегрузки (гиподинамия); нервно-эмоциональные нагрузки (переутомление, умственное перенапряжение,

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

перенапряжение зрительных, слуховых анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Все проводимые в практические работы должны быть организованы так чтобы по возможности полностью исключить воздействие опасных и вредных факторов рабочей среды. [14]

Для защиты от приведенных выше вредных и опасных производственных факторов были предприняты действия по их выявлению и предупреждению, а также разработаны мероприятия по защите от негативного влияния этих факторов на организм человека и достижению комфортных условий труда.

6.3 Охрана труда

Ответственными за безопасное ведение работ являются преподаватели. На каждом рабочем месте должны быть методические указания по выполнению данной практической работы, учитывающие требования безопасности. Какие-либо действия, не предусмотренные этими указаниями, не допускаются.

Перед началом работы следует внимательно изучить содержание и порядок проведения практической работы. Необходимо подготовить к работе рабочее место, убрать посторонние предметы. В процессе проведения работы следует точно выполнять все указания преподавателя или лаборанта и без его разрешения не проводить самостоятельно никаких действий связанные со стендами или иной другой аппаратуры и техники. Не оставлять без надзора включенное оборудование. По окончанию работы отключить питание стенда, привести в порядок рабочее место. [13]

При проведении лабораторных работ за лабораторным стендом запрещается:

- 1) оставлять лабораторный стенд без присмотра если на него подано питание;
- 2) проводить ремонт;
- 3) снимать корпуса с модулей стенда или проводить какой либо демонтаж приборов измерения если таковой присутствует.

Для обеспечения в лабораторном помещении параметров микроклимата в соответствии с «Санитарными нормами микроклимата производственных помещений» СН № 4088-86 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» для категорий работ 1а – 1б рекомендуется применять системы отопления и вентиляции.

Для нормальной, высокопроизводительной и качественной работы в помещении лаборатории необходимо, чтобы метеорологические условия (температура, влажность и скорость движения воздуха), т.е. микроклимат в определенных значениях соответствовал стандартам.

Таким образом в помещении лаборатории были обеспечены нормативные значения параметров микроклимата – температуры воздуха, его относительной влажности и скорости движения (соответственно от 21 до 23 °С; от 40 до 60 %; 0,1

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

м/с – для холодного периода года и от 22 до 24 °С; от 40 до 60 %; 0,2 м/с – для теплого периода года).

Мероприятия по улучшению качества воздушной среды разрабатываются для конкретного лабораторного помещения с учетом реально сложившихся причин загрязнения воздуха и климатического дискомфорта (например, скопление пыли в результате присутствия статических полей, пониженная влажность из-за действия систем отопления и нагреваемых частей аппаратуры).

Источником шума и вибрации в лаборатории является работа система охлаждения блоков питания компьютеров.

Для проведения экспериментальных работ в помещении лаборатории предельно допустимый уровень звука составляет 90 дБА.

Значение среднего уровня звука системы охлаждения LA=56 дБА, класс вибрации 1,12, что ниже предельно допустимых значений.

Для лабораторий высших учебных заведений нормируемая освещенность рабочих поверхностей составляет 400 лк.

Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать следующих значений: переменный ток с частотой 50 Гц – U=2 В, I=0,3 мА; постоянный ток – U=8 В, I=1 мА.

6.4 Производственная санитария

6.4.1 Определение категории тяжести труда при работе в лабораторном помещении.

Вид трудовой деятельности, тяжесть и напряженность работ устанавливаются на основе аттестации рабочих мест по условиям труда.

Выполнение лабораторных работ не связано с систематической физической активностью и мышечным напряжением. Поэтому данный вид работ относится к I категории (легкие работы, выполняемые сидя, при которых физические усилия не превышают 174 Вт).

6.4.2 Достижение оптимальных параметров микроклимата для помещений лабораторного назначения.

Для поддержания заданных значений температуры и влажности в лаборатории рекомендуется применять вентиляцию. В лаборатории вентиляция воздуха обеспечивается путем воздухообмена в результате действия ветрового и теплового напором, получаемых из-за разности плотности воздуха снаружи и внутри помещения. Естественная вентиляция осуществляется аэрацией. Аэрация предусматривает обмен воздуха в результате циркуляции воздуха через окна, форточки и иные проёмы в лабораторном помещении.

6.4.3 Мероприятия по снижению энергетических воздействий

При оценке условий труда учитываются время воздействия электромагнитного поля и характер облучения студентов обслуживающего персонала и всех присутствующих в помещении. Средства и методы защиты от электромагнитных полей делятся на три группы: организационные, инженерно-технические и лечеб-

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

но-профилактические. Для обеспечения безопасности работ с источниками электромагнитных волн в лаборатории проводится систематический контроль фактических значений нормируемых параметров. В лабораторном помещении наиболее рационально применять инженерно-технические меры защиты:

- рациональное размещение оборудования;
- расположение на безопасном расстоянии источников электромагнитного поля;
- при наименьшей интенсивности излучения использование жидкокристаллических мониторов, по сравнению с мониторами, выполненными на основе электроннолучевых трубок.

6.4.4 Мероприятия по снятию психофизиологических перегрузок

Рациональный режим труда и отдыха работников, установленный с учетом психофизиологической напряженности труда, динамики функционального состояния систем организма и работоспособности, предусматривает строгое соблюдение перерывов регламентированных. Для студентов это перерывы между занятиями в количестве 10 минут. Для другого персонала рабочий день длится в количестве 8 часов, основным перерывом является перерыв на обед. В соответствии с особенностями трудовой деятельности и характером функциональных изменений со стороны различных систем организма в режиме труда должны быть введены 2 – 3 перерыва длительностью 10 минут каждый.

6.5 Эргономика и производственная эстетика

По тяжести и напряжённости работ вид трудовой деятельности устанавливается на основе аттестации рабочих мест по условиям труда. Выполнение лабораторных работ можно отнести к первой категории тяжести, при этом физические усилия составляют до 174 Вт. Такие работы не требуют активной физической нагрузки и выполняются сидя или стоя.

Таблица 6.1 — Нормативные значения эргономических параметров рабочего места

Наименование параметра	База отсчета	Нормативное значение
рабочий стол (рабочая поверхность)		
Высота, мм	Полы	От 680 до 800 при регулировке, до 725 без регулировки.
Ширина, мм	край стола	От 800 до 1400

Окончание таблицы 6.1

Наименование параметра	База отсчёта	Нормативное значение
Глубина, мм	передний край стола	От 600 до 800
рабочий стул		
Высота поверхности сиденья, мм	Полы	450
Угол наклона поверхности сиденья, град	горизонтальная плоскость	5
Ширина сиденья, мм	край сиденья	400
Глубина сиденья, мм	передний край сиденья	Более 400
Высота спинки стула, мм	поверхность сиденья	350
Радиус кривизны спинки стула, мм	Середина спинки горизонтальная плоскость	более 400
Угол наклона спинки стула, град		не более 25°

Рассчитаем освещение помещения аудитории № 1 - 305.

Оценка системы существующей искусственного освещения.

Габаритные размеры: длина $A=6$ м; ширина $B=6,3$ м; высота от светильника до рабочей поверхности $H=2,45$ м. Система освещения равномерная, количество светильников в помещении $N=6$; с количеством ламп в одном светильнике $n=4$ шт.; световой поток одной лампы $\Phi=3000$ лм.

Определяем индекс помещения i

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{п}}(A + B)}, \quad (6.1)$$

где A, B – длина и ширина рассматриваемого помещения;

$H_{\text{п}}$ – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью.

$$i = \frac{6 \cdot 6,3}{2,45(6+6,3)} = 1,25$$

Следовательно, коэффициент испускания светового потока $\eta=50\%$.

Фактическая освещенность

$$E_{\text{ф}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot n \cdot \eta}{100S \cdot z \cdot k_3}, \quad (6.2)$$

где S – площадь помещения

$$S = A \cdot B; \quad (6.3)$$

$$S = 6 * 6,3 = 37,8;$$

Z – коэффициент min освещенности, 1,1;

k_3 – коэффициент запаса, 1,5.

$$E_{\phi} = \frac{3000 * 6 * 4 * 50}{100 * 37,8 * 1,1 * 1,5} = 577 \text{ лк.}$$

Допустимая освещенность $E_n = 300$ лк.

$$E_{\phi} \geq E_n \quad (6.4)$$

Из этого следует, что освещенность кабинета достаточная и даже выше нормы. Для этого можно уменьшить количество ламп в светильнике, что приведёт к уменьшения расходов электроэнергии.

Оценка естественного освещения.

Для гигиенической оценки достаточности естественного освещения помещений определяют геометрические и светотехнические показатели.

К светотехническим показателям относится коэффициент естественного освещения.

Минимальная величина коэффициента естественного освещения

$$e_{\min} = \frac{100 S_0 \tau r}{S_n \eta k_3}; \quad (6.5)$$

где S_0 , S_n – площадь окна и пола, 5 м^2 , $37,8 \text{ м}^2$ соответственно;

τ – общий коэффициент светопропускания, 0,54;

r – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента естественной освещенности отраженного света, 3;

η – световая характеристика окна, 10;

k_3 – коэффициент запаса, 1,3.

$$e_{\min} = \frac{100 * 5 * 0,54 * 3}{37,8 * 10 * 1,3} = 1,191\%.$$

Допустимая освещенность $e_n = 1,2 \%$.

$$e_{\min} = e_n \quad (6.6)$$

Следовательно, естественное освещение кабинета – достаточное.

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

6.6 Противопожарная охрана

Пожар может возникнуть при наличии источника возгорания, горючих веществ и разных окислителей. Горючими компонентами являются строительные материалы отделки помещения, двери, полы, обмотки технических деталей и т.д. Источниками зажигания могут являться электросхемы, питающие устройства, где в связи различных нарушений могут образоваться перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызывать возгорание горючих элементов. При этом опасность взрыва отсутствует.

Успех ликвидации пожара зависит главным образом от быстроты оповещения его в начале. Вследствие чего помещение оборудуется пожарной сигнализацией.

В лаборатории используются только твердые негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. Следовательно, исходя из пожароопасных свойств используемых веществ, помещение лаборатории относится к категории Д. При этом целесообразно использовать огнетушители следующих типов: ОП-5.

Для предупреждения возникновения пожаров необходимо проводить инструктажи с обслуживающим персоналом и студентами с обязательным оформлением записи в журнале инструктажей под роспись.

Для ликвидации пожаров в начальной стадии используются первичные средства устранения пожаров: огнетушители ручные и передвижные; сухой песок», асбестовые одеяла и другие. [16]

6.7 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций

При возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) решается комплекс специальных задач по ликвидации последствий, важнейшим из которых является проведение спасательных и других безотложных дел, нацеленных на спасение жизни и сохранение здоровья людей, на локализацию зон чрезвычайных ситуаций, прекращение действия характерных для нее опасных факторов. Мероприятия по подготовке и проведению спасательных и иных необходимых операций в зоне ЧС плотно связаны с событиями по обеспечиванию стойкости работы объекта. Мероприятия по повышению устойчивости работы объектов будут экономически обоснованы, если они максимально связаны с задачами, решаемыми в период безаварийной работы объекта, улучшения условий труда, усовершенствования производственного процесса. [15]

Лаборатория расположена в здании филиала. Наиболее вероятными стихийными бедствиями, которые могут возникнуть в районе расположения филиала, являются подтопление и выброс ядовитых веществ в атмосферу.

В районе расположения филиала находятся несколько предприятий, которые в своем технологическом процессе используют ядовитые вещества, такие как мышьяк и аммиак. При возникновении аварийной ситуации на предприятии возможна разгерметизация емкости для хранения ядовитых веществ; нарушение технологического процесса; террористический акт и другие, появляется опасность

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

выброса вредных веществ в атмосферу. Облако ядовитых веществ может быстро распространиться по району, в котором расположен филиал ЮУрГУ, в результате чего может произойти массовое отравление людей.

Противопожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий по предупреждению, локализации и ликвидации пожаров, а также по обеспечению безопасной эвакуации людей и материальных ценностей в случае пожара.

Противопожарная профилактика в зданиях обеспечивается: правильным выбором огнестойкости лаборатории и пределов огнестойкости отделочных элементов и конструкций; ограничением распространения огня в случае возникновения очага пожара; применением систем противодымовой защиты; безопасной эвакуацией людей; применением средств пожарной сигнализации, извещения и пожаротушения; организацией пожарной охраны.

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе были разработаны лабораторные работы по дисциплине «Физические основы электроники», на базе лабораторного стенда «Аналоговая электроника». Данный методический комплекс составлен для студентов по направлению 130302 «Электроэнергетика и электротехника». Приведен перечень практических работ: «Исследование характеристик инвертирующего и неинвертирующего и усилителей»; «Исследование характеристик повторителя и сумматора напряжения»; «Исследование характеристик стабилизаторов». Так же осуществлена связь практического задания с лабораторными работами и сопоставление результатов практических расчетов с реальной электрической схемой, что способствует лёгкому восприятию полученных знаний.

В экономической части расчет сметной стоимости учебного комплекса «Аналоговая электроника» составил 73002.04 рублей.

В разделе безопасность жизнедеятельности рассмотрены вопросы по охране труда, в которые вошли: профилактические и ремонтные работы, условия труда, техника безопасности, метод проведения лабораторных работ, расчет искусственного освещения, противопожарная охрана; экологической безопасности, факторы окружающей среды, воздействия электромагнитного излучения; и гражданской обороне, меры ликвидации аварийных ситуаций, противопожарная профилактика.

Результаты работы будут использоваться при обучении студентов по направлению 130302 «Электроэнергетика и электротехника» в филиале ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» кафедры «ЭАПП» в г. Златоусте

										Лист
										72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.20.114.00.00 ПЗ					

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.
2. Официальный сайт производителя National Instruments Elvis 2: <https://www.ni.com/ru-ru/support/model.ni-elvis-ii.html>.
3. Официальный сайт компании изготовителя лабораторного комплекса ФОЭ-НРЦ» - http://labstand.ru/catalog/fizicheskie_osnovy_elektroniki.
4. Жеребцов. И.П. Основы электроники / И.П. Жеребцов. – 5-е изд., доп. И перераб. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Официальный сайт программного обеспечения Every Circuit – <http://www.everycircuit.com>.
6. Аналоговая электроника: учебное пособие / И.Н. Таранова, О.В. Терентьев, П.А. Торопыгин. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2007. – 97 с.
7. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудких, А.И. Гуров; под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
8. Иванов-Цыганов, А.Н. Электропреобразовательные устройства РЭС: учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / А.Н. Иванов – Цыганов. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1991.
9. Интернет магазин элеиентов электроники - <https://www.chipdip.ru/>.
10. Операционные усилители Справочник. том 1 М., "Физматлит", 1993 г., 240 с
11. Полупроводниковые приборы: Справочник. Транзисторы. А.В. Нефедов, В.И. Гордеева. М.: КубК-а, 1996. 420 с.
12. М. И. Абрамович, В. М. Бабайлов, В. Е. Либбер и др. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках. Москва, Издательство Энергоатомиздат, 1992.
13. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / С.Н. Трофимова, В.И. Чуманов, В.А. Шишимиров. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2003. – 54 с.
14. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие по дипломному проектированию для студентов технических специальностей / С.П. Максимов, Т.Б. Балакина; под ред. С.Н. Трофимовой. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 55 с.
15. ГОСТ 12. 0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. - М.: Издательство стандартов, 1974.
16. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
17. ГОСТ 12.4.113–82. Издания. Система стандартов безопасности труда. Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 14 с.
18. Голиков, В.Н. Экономическая часть дипломного проекта: учебное пособие / В.Н. Голиков. - Челябинск: ЮУрГУ, 2000. - 46 с.

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

19. Основы бизнес-планирования: Методические указания по выполнению экономической части дипломных проектов для студентов технических специальностей / И.А.Баев, В.Н.Голиков, В.Г.Заслонов. - Челябинск: ЧГТУ, 2005. - 15 с.
20. Матушкина, О.Е., Некрасова, Н.В. Экономика предприятия: учебное пособие / О.Е. Матушкина, Н.В. Некрасова. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. - 20 с.

					13.03.02.20.114.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74