

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И. П. Матвеевко

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СХЕМОТЕХНИКА

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области
автоматизации технологических процессов, производств и управления
в качестве учебно-методического пособия по выполнению курсовой работы
по учебной дисциплине «Электронные компоненты и схемотехника»
для студентов учреждения высшего образования по специальности 6-05-0713-04
«Автоматизация технологических процессов и производств»,
профилизация «Автоматизация и роботизация в АПК»*

Минск
БГАТУ
2025

УДК 621.38(07)

ББК 32.85я7

М33

Рецензенты:

кафедра «Электротехника и электроника» Белорусского
национального технического университета
(заведующий кафедрой *Т. Е. Жуковская*);

кандидат технических наук, заведующий сектором информатизации ЖКХ –
и. о. ученого секретаря ГНУ «Институт жилищно-коммунального хозяйства
Национальной академии наук Беларуси» *Е. В. Тернов*

Матвеевко, И. П.

М33

Электронные компоненты и схемотехника : учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы / И. П. Матвеевко. – Минск : БГАТУ, 2025. – 92 с.
ISBN 978-985-25-0290-0.

Содержит методические рекомендации по выполнению курсовой работы
по дисциплине «Электронные компоненты и схемотехника», основные требования
к оформлению, образец выполнения курсовой работы с подробными рекомендациями,
приложения, список литературы.

Предназначено для обучающихся высших учебных заведений.

УДК 621.38(07)

ББК 32.85я7

ISBN 978-985-25-0290-0

© БГАТУ, 2025

Оглавление

Введение	4
Цели, задачи и тематика курсовых работ	5
Структурные элементы курсового проекта (работы)	6
Методические рекомендации по выполнению курсовой работы	10
Требования к оформлению курсового проекта (работы)	31
Список использованных источников	36
Приложения	38
Приложение А. Пример выполнения курсовой работы	39
Приложение Б. Основные правила работы с программой <i>MICROCAP</i>	79
Приложение В. Справочная информация о типах, параметрах и маркировке активных и пассивных элементов схем	87

Введение

Дисциплина «Электронные компоненты и схемотехника» является общеинженерной дисциплиной и относится к числу наиболее важных курсов для подготовки современных инженеров по автоматизации, как для промышленности, так и для сельского хозяйства.

Промышленная электроника, охватывая широкий круг научных, технических и производственных проблем, является базой для дальнейшего прогресса, в частности основой автоматизации многих областей промышленности, сельского хозяйства, транспорта и энергетики. Кроме того, будущие инженеры по автоматизации должны получать глубокие знания в областях современной микроэлектроники, аналоговой, цифровой и микропроцессорной техники, применения компьютеров для автоматизации различных промышленных устройств, включая энергообеспечение, транспорт, связь.

Целью дисциплины «Электронные компоненты и схемотехника» является изучение элементной базы и основ схемотехники электронных аналоговых и цифровых устройств, которые используются в современной промышленной электронике, а также принципов построения микропроцессоров, МП систем и технических средств связи. Таким образом, дисциплина формирует у студентов базу знаний в области электроники, дает основы для дальнейшего изучения и применения микропроцессорной техники и техники связи, а также формирует практические навыки работы инженера.

К задачам дисциплины относится ознакомление с современным состоянием, перспективами развития и областями применения средств электроники, микропроцессорной техники и технических средств связи; изучение методик исследования, расчета, анализа, моделирования, сравнения, оценки устройств аналоговой и цифровой техники, микропроцессорной техники и технических средств связи; закрепление современных методов поиска, обработки и использования информации.

Цели, задачи и тематика курсовых работ

Цель курсовой работы – практически закрепить знания теоретических разделов дисциплины за счет освоения пакета прикладных программ MICROCAP для компьютерного моделирования электронных схем.

Задачи курсовой работы:

- освоить методы и приемы расчета, моделирования и конструкторской разработки специальных электронных схем и устройств;
- научиться пользоваться специальной литературой, справочными пособиями, реферативными журналами и другими библиографическими изданиями, а также интернет ресурсами;
- подготовить студентов к дипломному проектированию.

Достижению этих целей способствует индивидуальный характер заданий к курсовой работе.

Тематика курсовых работ

«Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты с заданными параметрами, двухполупериодного мостового выпрямителя с фильтром и стабилизатора напряжения, проектирование логической схемы управления по заданной логической функции» (по вариантам).

Варианты заданий приводятся в каждом разделе и выбираются в зависимости от предпоследней и последней цифр шифра зачетной книжки.

Структура и содержание курсового проекта (работы)

1 Структура курсовой работы должна включать следующие элементы (материалы приведены в порядке их расположения):

- титульный лист;
- задание;
- реферат;
- оглавление;
- введение;
- текст пояснительной записки с иллюстративным материалом, таблицами, графиками и т. п.;

- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

2 Общий объем курсовой работы составляет 25–30 машинописных страниц.

3 Объем графической части курсовых проектов составляет, как правило, 2 листа формата A1 (объем графической части курсовой работы может быть уменьшен). В данной курсовой работе объем графической части составляет 4 листа формата A4.

4 Способ выполнения текстовых материалов – машинописный (основной) с применением выходных печатающих устройств ЭВМ – при этом рекомендуется, набирая текст в текстовом редакторе Word, использовать шрифты Times New Roman размером 14 pt (пунктов) с межстрочным интервалом 18 пунктов (один межстрочный интервал), выравнивание – по ширине, абзацный отступ – 1,25 см, размеры полей: верхнее 20 мм, нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм.

Структурные элементы курсового проекта (работы)

1 **Титульный лист** является первой страницей расчетно-пояснительной записки. Выполняется на бланке установленной формы. На титульном листе рамки не выполняются, штамп основной надписи не приводят.

2 **Задание на проектирование** является главным руководством, на основании которого разрабатывается проект. Задание выполняется на бланке установленного образца, который выдается руководителем курсового проекта (работы). Задание на КП (КР) утверждается заведующим кафедрой. При получении задания свою подпись на нем ставит студент.

Форма задания на курсовой проект (курсовую работу) приведена в [1].

3 **Реферат** – это краткая характеристика выполненного проекта, предназначенная для предварительного ознакомления с проектом (работой) и отражающая основное содержание работы с точки зрения ее достоинств и достижения цели, поставленной в теме проекта.

Текст реферата пишется на стандартном листе, оформленном рамкой. Основную надпись на данном листе не помещают. Номер страницы не проставляют.

Заголовок «Реферат» пишется с прописной буквы и располагается на отдельной строке симметрично тексту. Объем реферата - не более одной страницы. Вначале указывают объем проектной документации: перечисляют общий

объем текстовых материалов с выделением, в том числе, иллюстраций (эскизов, рисунков, таблиц и т. п.); указывают объем графической части проекта. Указывают количество использованных источников. Далее приводят ключевые слова. Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста расчетно-пояснительной записки, которые в наибольшей степени характеризуют содержание. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и записываются строчными буквами в строку через запятые после слов «Ключевые слова». Затем дают краткое содержание проекта (работы), отражающее цель работы, методы разработки, принятые решения, приводят итоговые результаты и основные показатели, указывают возможности внедрения основных результатов проекта.

Образец реферата приведен в [1].

4 **Оглавление** предназначено для облегчения поиска необходимых материалов при чтении записки, а также для общего ознакомления с работой и представления об объемах всех разделов. Оглавление начинает текстовую часть расчетно-пояснительной записки. Его размещают сразу после листа реферата с новой страницы и при необходимости продолжают на последующих листах. Слово «Оглавление» пишут с прописной буквы посередине страницы. В оглавлении приводят порядковые номера и наименования разделов, подразделов и пунктов, имеющих наименование, а также приложения с их обозначениями и наименованиями. Указывается номер листа (страницы), на котором размещено начало материала (раздела, подраздела и т. п.). На первой странице оглавления приводят основную надпись по форме, соответствующей основной надписи первого листа текстового материала. Пример оформления оглавления приведен в [1].

5 **Введение** характеризует современное содержание тех вопросов и проблем, которым посвящен курсовой проект (работа). Во введении нужно обосновать необходимость проведения именно этой работы, показать ее место в кругу аналогичных работ, актуальность и новизну разрабатываемой темы, цель проекта и что ожидается получить в результате его выполнения.

6 **Текст пояснительной записки.** Содержание разделов расчетно-пояснительной записки определяется заданием на проектирование. Оформление расчетно-пояснительной записки осуществляется в соответствии с [1].

7 **Заключение** должно отражать основные результаты работы, выводы и предложения.

8 **Список использованных источников.** Составление списка использованных источников является завершением курсового проекта (работы), основой

для которого служат записи всех просмотренных и изученных книг, статей из сборников и журналов и других материалов.

Как правило, используется алфавитный способ группировки материала в списках, когда источники группируют в алфавитном порядке записей. В начале списка размещаются по алфавиту книги, а затем – статьи из журналов и сборников. При этом иностранные источники размещают по алфавиту после перечня всех источников на языке выполняемой работы.

Библиографический указатель использованной при выполнении литературы дается на отдельной странице (страницах) под заголовком «Список использованных источников». Заголовок порядкового номера не имеет.

В список включают только те источники, на которые в тексте ПЗ имеется ссылка. Каждый источник, включенный в список, нумеруют арабскими цифрами с точкой и записывают с новой строки.

Примеры записи литературных источников приведены в [1].

9 Приложения. Материал, дополняющий текст документа, допускается помещать в приложениях. Приложениями могут быть, например, графический материал, таблицы большого формата, расчеты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ задач, решаемых на ЭВМ, и т. д. Приложения оформляют как продолжение записки на последующих ее листах.

В тексте записки на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте записки.

Содержание курсовой работы

Курсовая работа выполняется по разделам в соответствии с технологией модульного обучения:

- первый раздел – при изучении модуля № 2 по теме «Усилительные устройства»;
- второй раздел – при изучении модуля № 2 по теме «Генераторы гармонических колебаний и устройства электропитания»;
- третий раздел – при изучении модуля № 3 по теме «Импульсная и цифровая техника».

Содержание разделов курсовой работы:

1 Спроектировать, рассчитать, выбрать электронные компоненты и смоделировать на компьютере электронную схему низкочастотного однокаскадного усилителя на биполярном транзисторе в соответствии с вариантом, получить временные диаграммы, АЧХ и ФЧХ-усилителя.

2 Спроектировать, рассчитать, выбрать элементы и смоделировать на компьютере схему однофазного выпрямителя, произвести расчет сглаживающего фильтра в соответствии с вариантом и получить временные диаграммы, а также провести расчет компенсационного стабилизатора напряжения для обеспечения заданного коэффициента стабилизации.

3 Спроектировать логическую схему управления на базовых логических элементах по заданной логической функции в соответствии с вариантом, произвести минимизацию функции с использованием карт Карно.

При выполнении курсовой работы следует использовать рекомендуемую литературу, а также информацию, приведенную в приложениях к данному учебно-методическому пособию.

В **приложении А** приведен пример выполнения курсовой работы.

В **приложении Б** приведены основные правила работы с пакетом прикладных программ *MICROCAP*. Показано, как выбираются активные и пассивные элементы электронных схем, устанавливаются их параметры; каким образом можно получить временные диаграммы, а также амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики.

В **приложении В** приведена справочная информация о типах, параметрах и маркировке активных и пассивных элементов схем. Приведены примеры типов отечественных биполярных транзисторов и их зарубежных аналогов, а также основные параметры этих транзисторов. Даны ряды номинальных значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов.

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

Раздел № 1

1 Рассчитать усилитель напряжения низкой частоты (каскад предварительного усиления), работающего на входную цепь следующего каскада, выполненного на таком же транзисторе. Транзисторы включены по схеме с общим эмиттером и имеют эмиттерную стабилизацию точки покоя.

Выбрать типы резисторов и конденсаторов в соответствии с их номинальными значениями (**Приложение В**). Составить таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы, полученной в результате моделирования на компьютере (п. 2 задания). Уточнить параметры элементов схемы для получения заданного коэффициента усиления; подобрать номинальные значения сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов, указать их маркировку.

2 Смоделировать и исследовать рассчитанную схему на компьютере, уточнить параметры элементов схемы, получить временные диаграммы для входного и выходного напряжений (зависимость входного напряжения $U_{\text{вх}}$ от времени t и зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от времени t), амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики с помощью программы MICROCAP. По АЧХ определить значение нижней граничной частоты $f_{\text{н}}$. По ФЧХ определить угол сдвига фаз между входным и выходным напряжениями на частоте 100 Гц и 10 МГц.

3 На листе графической части формата А4 привести смоделированную схему усилителя напряжения низкой частоты с уточненными параметрами и таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1 и последовательно приведены следующие параметры усилительного каскада:

1 Тип транзистора и его зарубежный аналог (жирным шрифтом выделены варианты с транзисторами *n-p-n* типа, обычным шрифтом представлены варианты с транзисторами *p-n-p* типа).

2 $U_{\text{вх}}$ – входное напряжение, мВ.

3 K_U – коэффициент усиления по напряжению.

4 $E_{\text{к}}$ – напряжение питания, В.

5 $f_{\text{н}}$ – нижняя граничная частота, Гц.

В результате расчета определить (рисунок 1):

1 Параметры элементов схемы: $R_{\text{к}}$, $R_{\text{э}}$, R_1 , R_2 .

2 Определить емкости разделительных конденсаторов C_{p1} , C_{p2} и блокировочного конденсатора $C_{\text{э}}$.

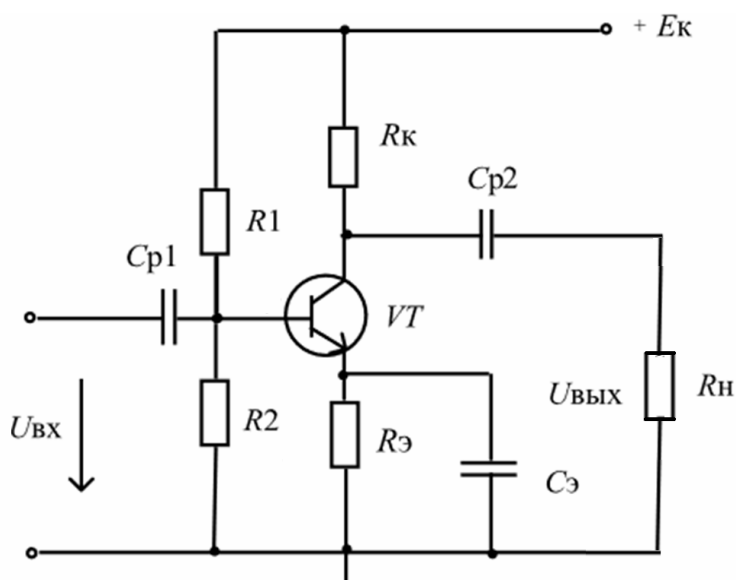


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема усилителя напряжения

При расчете усилителя целесообразно придерживаться следующей последовательности:

1 Для данного типа транзистора выбираем из справочника [9,10,18–20]:

$h_{21э}$ – статический коэффициент передачи тока для схемы с ОЭ в режиме малого сигнала;

$U_{кэ\max}$ – максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттера.

Примеры типов транзисторов и их параметров приведены в **приложении В**. Здесь же приведены примеры зарубежных аналогов транзисторов и их параметры, которые необходимы при моделировании схемы усилителя. Если заданный тип транзистора отсутствует в этих таблицах, необходимо воспользоваться справочной литературой [9, 10, 18–20] или интернет ресурсами. Кроме параметров транзисторов необходимо иметь входные $I_{б} = f(U_{бэ})$ и выходные $I_{к} = f(U_{кэ})$ характеристики заданного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ).

2 Производим выбор режима работы транзистора по постоянному току.

Находим амплитуду тока коллектора $I_{км}$, для этого определяем:

– значение выходного напряжения:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot K_U;$$

– сопротивление коллектора выбираем из условия:

$$R_k \approx (0,5 \div 2) \text{кОм}.$$

Таблица 1 - Исходные данные к заданию № 1

Последняя цифра шифра студента									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
КТ340В (2N835)	КТ313А (2N2906А)	КТ3102Д (2N2484)	КТ347Б (2N2894)	КТ313Б (2N2907)	КТ313А (2N2906)	КТ347Б (2N2894)	КТ313А (2N2906А)	КТ313А (2N2906)	КТ347Б (2N2894)
170 ; 3	130 ; 2	200 ; 3	160 ; 2	120 ; 2,5	150 ; 3,5	190 ; 2	150 ; 3	170 ; 2,5	160 ; 2
14 ; 120	15 ; 400	10 ; 550	10 ; 500	13 ; 200	14 ; 620	12 ; 490	13 ; 200	11 ; 800	12 ; 490
КТ313Б (2N2907)	КТ345Б (2N3252)	КТ313Б (2N2907А)	КТ3011 (2N3011)	КТ345Б (N3249)	КТ315Б (2N2907)	КТ313Б (2N2907)	КТ3117А (2N2221)	КТ313Б (2N2907А)	КТ315А (2N2907)
160 ; 2,5	170 ; 2	140 ; 3	150 ; 2,5	170 ; 3	190 ; 2,5	180 ; 2,5	140 ; 3,5	200 ; 2,5	150 ; 2,5
13 ; 240	12 ; 220	11 ; 550	14 ; 680	14 ; 750	11 ; 950	15 ; 590	16 ; 780	12 ; 950	15 ; 580
КТ3102А (BC237А)	КТ3108Б (2N3251)	КТ3102Б (BC237Б)	КТ3108А (2N3250)	КТ3102А (BC238А)	КТ3108Б (2N3250А)	КТ3102А (BC237А)	КТ3108Б (2N3251)	КТ3117А (2N2221)	КТ3108А (2N3250)
130 ; 2,5	190 ; 2	200 ; 3	120 ; 3	180 ; 3	130 ; 3	110 ; 2,5	170 ; 3	120 ; 3,5	140 ; 2
10 ; 970	12 ; 850	14 ; 250	13 ; 570	12 ; 180	14 ; 980	15 ; 650	13 ; 260	12 ; 780	15 ; 650
КТ632Б (2N3495)	КТ313Б (2N2907)	КТ363А (2N3546)	КТ375 (SF216С)	КТ345Б (2N3702)	КТ399А (SF216А)	КТ632Б (2N3495)	КТ3102Б (BC237А)	КТ363А (2N3546)	КТ3102А (BC317)
120 ; 3,5	130 ; 2	100 ; 3	150 ; 2,5	110 ; 3	120 ; 2,5	140 ; 2,5	120 ; 3,5	130 ; 3	150 ; 2
11 ; 630	12 ; 960	9 ; 910	14 ; 690	10 ; 280	14 ; 150	13 ; 790	12 ; 280	15 ; 150	14 ; 790
КТ3117Б (2N2221)	КТ361Г (2N3905)	КТ3102Д (2N2484)	КТ932Б (2N3740)	КТ313Б (2N2907)	КТ932А (2N3741)	КТ375 (SF215С)	КТ361Г (2N3905)	КТ399А (SF216С)	КТ932Б (2N3740)
160 ; 2,5	140 ; 2,5	140 ; 3	130 ; 3	110 ; 2,5	130 ; 3,5	120 ; 3	110 ; 2	130 ; 3	110 ; 3
13 ; 860	10 ; 940	13 ; 270	9 ; 680	15 ; 510	12 ; 490	12 ; 580	14 ; 510	11 ; 390	9 ; 680
КТ361Г (2N3906)	КТ3102А (BC237А)	КТ361Б (2N4125)	КТ3102Б (BC237А)	КТ3107Ж (2N4126)	КТ375 (SF215С)	КТ361Г (2N3906)	КТ3102А (BC237А)	КТ361Б (2N4125)	КТ315Г (BC546Б)
110 ; 2,5	160 ; 3	130 ; 2,5	120 ; 3	170 ; 3,5	160 ; 2,5	120 ; 3,5	170 ; 3	160 ; 2	120 ; 3,5
12 ; 180	11 ; 270	12 ; 810	14 ; 260	9 ; 310	14 ; 390	13 ; 360	10 ; 210	13 ; 300	13 ; 360
КТ315Б (2SC594)	КТ816А (2N5193)	КТ3102А (BC237А)	КТ363А (2N4260)	КТ3102Б (BC237Б)	КТ363Б (2N4261)	КТ313А (2N2907)	КТ816А (2N5193)	КТ3102Б (BC237А)	КТ363А (2N4260)
190 ; 2	100 ; 3	130 ; 3	110 ; 3,5	120 ; 2,5	120 ; 3	110 ; 2,5	120 ; 2	120 ; 3,5	110 ; 2,5
10 ; 400	9 ; 560	14 ; 950	13 ; 780	12 ; 930	11 ; 130	12 ; 780	10 ; 870	11 ; 130	13 ; 760
КТ816В (2N5194)	КТ3117А (2N2221)	КТ816Г (2N5195)	КТ313Б (2N2907Б)	КТ350А (2N5226)	КТ3102А (BC238А)	КТ816В (2N5194)	КТ345Б (2N3252)	КТ816Г (2N5195)	КТ375 (SF216С)
190 ; 3	180 ; 2	110 ; 3,5	120 ; 3	200 ; 2	150 ; 3	130 ; 3	200 ; 2	160 ; 3	130 ; 3,5
13 ; 640	11 ; 960	14 ; 780	13 ; 280	12 ; 870	14 ; 310	14 ; 210	10 ; 930	13 ; 270	12 ; 210
КТ315Б (2SC594)	КТ818Г (2N6107)	КТ399А (SF216С)	КТ6116А (2N5401)	КТ375 (SF216С)	КТ363АМ (2N5771)	КТ3102А (BC237А)	КТ818Г (2N6107)	КТ3102Б (BC237А)	КТ6116А (2N5401)
190 ; 2,5	120 ; 3	180 ; 2	110 ; 3,5	170 ; 2	130 ; 2,5	100 ; 3,5	160 ; 2,5	130 ; 2,5	100 ; 3,5
11 ; 160	15 ; 420	10 ; 280	11 ; 320	10 ; 170	14 ; 960	11 ; 420	10 ; 170	9 ; 860	12 ; 320
КТ818А (2N6111)	КТ3117С (2N2221)	КТ837Ф (2N6124)	КТ3102А (BC237А)	КТ837С (2N6125)	КТ3117А (2N2221)	КТ818А (2N6111)	КТ368А (2N918)	КТ837Ф (2N6124)	КТ342Г (2N915)
120 ; 3	110 ; 2,5	150 ; 3	140 ; 3	130 ; 3,5	160 ; 2	150 ; 2	120 ; 3,5	170 ; 2,5	140 ; 2,5
14 ; 420	13 ; 380	14 ; 850	12 ; 280	10 ; 390	14 ; 970	12 ; 280	11 ; 390	14 ; 220	12 ; 280

Тогда амплитуда тока коллектора: $I_{km} = U_{вых} / R_n$,

где R_n – сопротивление на выходе усилительного каскада (сопротивление нагрузки, или, по-другому, входное сопротивление следующего каскада).

При определении R_n исходим из условия:

$$R_k \gg R_n.$$

Определяем ориентировочно R_n :

$$R_n \approx 0,05 \cdot R_k.$$

3 Определим постоянную составляющую тока коллектора:

$$I_{ко} \geq I_{km} / k_3,$$

где k_3 – коэффициент запаса, не должен превышать (0,7...0,95), т. к. тогда могут возникнуть нелинейные искажения, при $k_3 < 0,7$ ухудшается к.п.д. каскада.

Значение $U_{кэо}$ принимаем равным типовому значению $U_{кэо} = -5$ В (для транзисторов *p-n-p* типа) или +5 В (для транзистора *n-p-n* типа).

На выходных характеристиках отмечаем точку покоя П с координатами $I_{ко}$, $U_{кэо}$ и находим ток покоя базы $I_{бo}$. Эту точку П переносим на семейство входных характеристик и определяем при данных $I_{бo}$ и $U_{кэо}$ значения напряжения база-эмиттер $U_{бэo}$. Если точка П не находится ни на одной из характеристик, следует изменить R_k и повторить пункты 2–3.

4 Определяем входное сопротивление транзистора с ОЭ переменному току по входной характеристике транзистора. Для этого проводим касательную в рабочей точке (точке покоя) (на семействе входных характеристик касательная проводится ближе к прямолинейному участку) и находим тангенс угла наклона в этой точке, т. е. $\Delta U_{бэ}$ и $\Delta I_{б}$.

Тогда

$$R_{вхэ} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_{б}.$$

5 Определяем общее сопротивление коллекторной цепи постоянному току:

$$R_K + R_3 \approx (E_K - |U_{KЭ0}|) / I_{K0}.$$

6 Произведем расчет схемы УНЧ по переменному току:

- определяем коэффициент усиления каскада без отрицательной обратной связи (ООС):

$$K_{\text{без ООС}} = h_{21э} \cdot (R_H / R_{\text{вх } э});$$

- коэффициент усиления каскада с отрицательной обратной связью (ООС):

$$K_{\text{ООС}} = K_U;$$

- коэффициент передачи цепи ОС усилителя с ООС:

$$\gamma = (K_{\text{без ООС}} - K_{\text{ООС}}) / (K_{\text{без ООС}} \cdot K_{\text{ООС}});$$

- определяем сопротивление, стоящее в цепи эмиттера и обеспечивающее ООС в усилителе:

$$R_3 = (\gamma \cdot R_H \cdot h_{21э}) / (h_{21э} + I).$$

7 Уточняем сопротивление коллектора:

$$R_K = (R_K + R_3) - R_3.$$

8 Находим сопротивление резисторов в цепи базы:

$$R1 = (E_K - (I_{K0} + I_{Б0}) R_3) / I_{Б0},$$

$$R2 \approx R1.$$

9 Определяем емкость блокировочного конденсатора C_3 :

$$C_3 \geq \frac{h_{21э}}{2\pi f_H (R_{\text{и}} + R_{\text{вх } э}) \sqrt{M_{\text{сз}}^2 - 1}},$$

где $R_{\text{и}}$ – внутреннее сопротивление источника усиливаемого сигнала, которое определяется из формулы

$$\frac{1}{R_{\text{и}}} = \frac{1}{R_{\text{к}}} + \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}.$$

Коэффициент частотных искажений учитывает влияние блокировочного конденсатора на частотные искажения:

$$M_{\text{сз}} \approx 1,18.$$

10 Определяем емкости разделительных конденсаторов $C1$ и $C2$:

$$C2 \geq \frac{1}{2\pi f_{\text{н}}(R_{\text{н}} + R_{\text{к}})\sqrt{M_{\text{C2}}^2 - 1}};$$

$$M_{\text{C2}} = M_{\text{C1}} \approx 1.09;$$

$$C1 \geq \frac{1}{2\pi f_{\text{н}}(R_{\text{вхз}} + R_{\text{выхд}})\sqrt{M_{\text{C1}}^2 - 1}},$$

где $R_{\text{выхд}}$ – выходное сопротивление делителя. Если $R_{\text{выхд}}$ неизвестно, то обычно полагают $R_{\text{выхд}} = 0$, в этом случае $C1$ берут с некоторым запасом.

11 Общее входное сопротивление УНЧ:

$$R_{\text{вх ус}} = R_{\text{вх з}} + R_{\text{з}}(h_{21 \text{ з}} + 1).$$

12 Создать принципиальную электрическую схему усилителя с рассчитанными параметрами элементов с помощью программы *MICROCAP* в соответствии с **приложением Б**.

Для схемы усилителя на биполярном транзисторе $p-n-p$ -типа полярность подключения источника питания $-V2$. Для схемы усилителя с транзистором $n-p-n$ -типа необходимо изменить полярность подключения источника питания $+V2$.

13 Уточнить параметры резисторов и конденсаторов в схеме, выбрав их в соответствии с номинальными значениями (**приложение В**).

Скорректировать схему.

14 Распечатать принципиальную электрическую схему усилителя (с уточненными параметрами элементов) на листе графической части формата А4. Составить таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы, полученной в результате моделирования на компьютере, указать их маркировку.

15 Получить временные диаграммы для входного и выходного напряжений (**приложение Б**).

16 Убедиться, что рассчитанный усилительный каскад усиливает входное напряжение $U_{\text{вх}}$ в соответствии с заданным коэффициентом K_U . Если K_U не совпадает с заданным значением, необходимо уточнить (или пересчитать) параметры элементов схемы.

17 Получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в двух вариантах:

– зависимость коэффициента усиления по напряжению $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ от частоты f ;

– зависимость коэффициента усиления, выраженного в дБ, от частоты f , и фазочастотную характеристику (ФЧХ) рассчитанного усилительного каскада (УК), как указано в **приложении Б**.

18 Распечатать с экрана компьютера в курсовую работу по заданию № 1:

– временные диаграммы для входного и выходного напряжений (зависимость входного напряжения $U_{\text{вх}}$ от времени t и зависимость выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от времени t), на которых указать амплитудные значения этих напряжений;

– АЧХ с указанием нижней граничной частоты $f_{\text{н}}$ и ФЧХ с указанием угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями на частоте 100 Гц и 10 МГц.

Раздел № 2

1 Рассчитать схему однофазного мостового выпрямителя со сглаживающим фильтром (вид фильтра по вариантам указан в таблице 2).

Выбрать диоды для однофазного мостового выпрямителя, работающего на нагрузку с сопротивлением $R_{\text{н}}$ и постоянной составляющей выпрямленного напряжения $U_{\text{н}}$. Определить ток и напряжение вторичной обмотки трансформатора, и мощность трансформатора, если известно входное напряжение U_1 (таблица 2). Рассчитать параметры фильтра, который должен обеспечивать заданный коэффициент пульсаций p_2 . Частота питающей сети $f = 50$ Гц.

2 Смоделировать и исследовать рассчитанную схему на компьютере, уточнить параметры элементов схемы, получить временные диаграммы для входного и выходного напряжений (зависимость входного напряжения $U_{вх}$ от времени t и зависимость выходного напряжения $U_{вых}$ от времени t) схемы без фильтра и схемы с фильтром для обеспечения заданного коэффициента пульсаций p_2 . Распечатать временные диаграммы в курсовую работу.

Составить таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы, указать их маркировку.

3 На листе графической части формата А4 привести смоделированную схему однофазного мостового выпрямителя со сглаживающим фильтром, таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы.

4 Рассчитать схему компенсационного стабилизатора напряжения для обеспечения заданного коэффициента стабилизации (таблица 3), где $U_{вых}$ – выходное напряжение; $\pm \Delta U_{вых}$ – предельное отклонение выходного напряжения; I_H – ток нагрузки; $\Delta U_{вх}/U_{вх}$ – допустимые относительные изменения входного напряжения; $K_{ст}$ – коэффициент стабилизации.

5 На листе графической части формата А4 привести смоделированную схему компенсационного стабилизатора, таблицу перечня элементов принципиальной электрической схемы.

Исходные данные приведены в таблице 2 (для расчета выпрямителя) и таблице 3 (для расчета компенсационного стабилизатора напряжения).

Таблица 2 - Исходные данные для расчета схемы выпрямителя

Номер варианта	Предпоследняя цифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_H, В$	100	15	25	35	40	50	60	70	45	55
$U_L, В$	220	215	200	190	180	210	220	225	235	210
Номер варианта	Последняя цифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_H, Ом$	400	75	800	50	200	250	300	400	500	1000
p_2	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,005	0,004	0,003	0,02
Тип фильтра	C_Φ	$R_\Phi C_\Phi$	C_Φ	L_Φ	C_Φ	$L_\Phi C_\Phi$	$L_\Phi C_\Phi$	$C_{\Phi 1} L_\Phi C_{\Phi 2}$	$C_{\Phi 1} L_\Phi C_{\Phi 2}$	C_Φ

Таблица 3 – Исходные данные для расчета стабилизатора напряжения

Номер варианта	Последняя цифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{вых}, В$	100	10	20	30	40	50	60	70	30	50
$\pm \Delta U_{вых}, В$	1	0,5	0,5	1	0,75	1	0,75	1	1,2	1,2
$I_H, А$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	0,4	0,5
$\Delta U_{вх}/U_{вх}$	10	10	15	15	20	20	5	5	10	10
$K_{ст} \geq$	80	90	110	70	90	100	150	200	100	250

Для однофазного мостового выпрямителя (рисунок 2):

1 Определить параметры элементов схемы VD1-VD4 и выбрать по справочнику [9, 10, 18–20, интернет ресурсы] диоды с номинальными значениями параметров и их зарубежные аналоги.

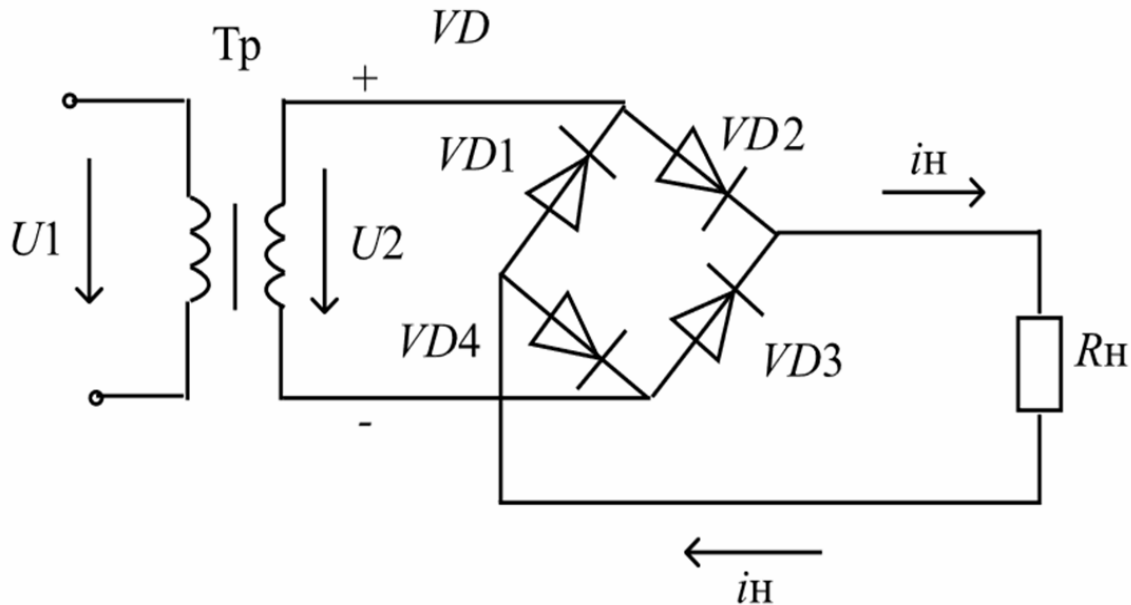


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема однофазного мостового выпрямителя напряжения без фильтра

Для этого:

1.1 Определить постоянную составляющую выпрямленного тока (тока нагрузки) I_H :

$$I_H = U_H / R_H.$$

1.2 Определить действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора U_2 , воспользовавшись таблицей 4, где указаны количественные соотношения напряжений, токов и мощностей для различных схем выпрямления:

$$U_2 = 1,11 \cdot U_H.$$

1.3 Определить действующее значение тока, протекающего через вторичную обмотку трансформатора:

$$I_2 = 1,11 \cdot I_H.$$

1.4 Максимальное значение обратного напряжения на закрытом диоде (таблица 4):

$$U_{\text{обр max}} = 1,57 \cdot U_{\text{н}}.$$

Таблица 4 - Количественные соотношения напряжений, токов и мощностей для различных схем выпрямления

Схема выпрямления	Соотношения для выбора				Коэффициент пульсаций
	диодов		трансформатора		
	$U_{\text{обрmax}}/U_{\text{н}}$	$I_{\text{д}}/I_{\text{н}}$	$U_2/U_{\text{н}}$	$P_{\text{т}}/P_{\text{н}}$	p_1
Однополупериодная ($m = 1$)	3,14	1	2,22	3-3,5	1,57
Однофазная мостовая ($m = 2$)	1,57	1/2	1,11	1,23	0,67
Двухполупериодная с нулевым выводом ($m = 2$)	3,14	1/2	1,11	1,23	0,67
Трехфазная мостовая	1,045	1/3	0,74	1,045	0,057
Трехфазная с нулевым выводом	2,09	1/3	0,855	1,34	0,25

1.5 Так как ток через диоды протекает полупериода, то среднее значение тока диода равно

$$I_{\text{пр}} = 0,5 \cdot I_{\text{н}}.$$

1.6 Выбрать диоды по двум параметрам: $I_{\text{пр}}$ и $U_{\text{обр.max}}$, которые должны быть не менее расчетных значений. Выбираем по справочнику [9, 10, 18–20, интернет ресурсы].

1.7 Определить зарубежный аналог выбранного диода по справочнику [9, 10, 18–20, интернет ресурсы]. Этот диод будет использоваться при моделировании схемы в программе *MICROCAP*.

2 Выбрать входной трансформатор по расчетной мощности.

Для этого:

определить расчетную мощность трансформатора:

$$P_{\text{Трасч}} = 1,23 \cdot P_{\text{н}}.$$

$$P_{\text{Тном}} \geq P_{\text{расч}}$$

и коэффициент трансформации, который, с одной стороны, определяется как

$$n = U_1 / U_2,$$

а, с другой стороны, как

$$n \approx \sqrt{\frac{L1}{L2}},$$

где $L1$ принимается равным 1 Гн. Тогда $L2$ будет определяться как

$$L2 = \frac{L1}{n^2}.$$

Коэффициент сцепления k , который необходимо указывать в параметрах выбранного трансформатора, будет лежать в пределах (0...1).

При выборе трансформатора в *MICROCAP* при создании схемы в графе «Величина» указываются значения $L1$, $L2$, k (**Приложение Б**).

3 Спроектировать принципиальную электрическую схему с помощью программы *MICROCAP* в соответствии с **Приложением Б** и расчетными параметрами элементов; если выбранный зарубежный аналог отсутствует в списке диодов программы *MICROCAP*, то следует выбрать ближайший по маркировке (можно воспользоваться отечественным диодом, если он есть в базе *MICROCAP*).

4 Получить временные диаграммы для входного $U_{\text{вх}} = f(t)$ и выходного напряжений $U_{\text{вых}} = f(t)$ (**Приложение Б**) схемы однофазного мостового выпрямителя без фильтра и распечатать их с экрана компьютера.

5 Рассчитать параметры сглаживающего фильтра для обеспечения заданного коэффициента пульсаций p_2 .

Коэффициент пульсаций однофазного мостового выпрямителя без фильтра p_1 (см. таблицу 4) равен

$$p_1 = 0,67.$$

Коэффициент пульсаций однофазного мостового выпрямителя с фильтром равен p_2 (задан в таблице 2 в соответствии с вариантом).

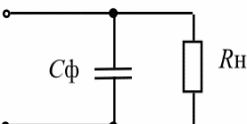
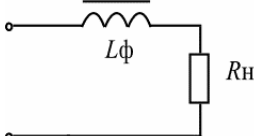
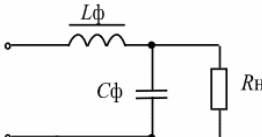
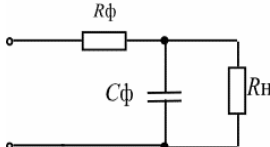
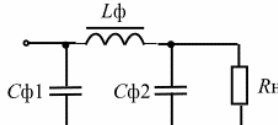
Коэффициент сглаживания фильтра q

$$q = p_1/p_2.$$

Параметры фильтра рассчитываются по формулам в соответствии с таблицей 5.

В составных фильтрах при расчетах принять значение $C_{\Phi} = 20$ мкФ.

Таблица 5 – Параметры сглаживающих фильтров

Тип фильтра	Коэффициент сглаживания	Условия эффективной работы
Емкостной 	$q_c = m \cdot \omega \cdot R_{\text{н}} \cdot C_{\Phi},$ где m – число пульсаций выпрямленного напряжения; $\omega = 2\pi f$	$\frac{1}{m \cdot \omega \cdot C_{\Phi}} \ll R_{\text{н}}$
Индуктивный 	$q_L = \frac{m \cdot \omega \cdot L_{\Phi}}{R_{\text{н}}}$	$m \cdot \omega \cdot L_{\Phi} \gg R_{\text{н}}$
Г-образный LC-фильтр 	$q_{\Gamma} = q_L \cdot q_C =$ $m^2 \cdot \omega^2 \cdot L_{\Phi} \cdot C_{\Phi}$	$m \cdot \omega \cdot L_{\Phi} \geq (5 \dots 10) \cdot R_{\text{н}}$ $\frac{1}{m \cdot \omega \cdot C_{\Phi}} \leq (0,1 \dots 0,2) \cdot R_{\text{н}}$
Г-образный RC-фильтр 	$q_{RC} = m \cdot \omega \cdot C_{\Phi} \cdot \frac{R_{\text{н}} \cdot R_{\Phi}}{R_{\text{н}} + R_{\Phi}}$	$\frac{1}{m \cdot \omega \cdot C_{\Phi}} \ll R_{\Phi}$ $\frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{д}}} = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\Phi}} = 0,5 \dots 0,9$
П-образный CLC-фильтр 	$q_{\Pi} = q_{\Gamma} \cdot q_{C_{\Phi 1}}$	$C_{\Phi 2} = (1 \dots 2) \cdot C_{\Phi 1}$ $q_{\Gamma} = \frac{q_{\Pi}}{q_{C_{\Phi 1}}}$

6 Получить временные диаграммы для входного $U_{\text{вх}} = f(t)$ и выходного напряжений $U_{\text{вых}} = f(t)$ (**Приложение Б**) схемы однофазного мостового выпрямителя с фильтром и распечатать их с экрана компьютера.

7 Распечатать принципиальную электрическую схему однофазного мостового выпрямителя с фильтром, ниже привести таблицу перечня элементов (уточненные параметры) принципиальной электрической схемы на листе графической части формата А4.

Для компенсационного стабилизатора (рисунок 3):

1 Рассчитать параметры элементов схемы для обеспечения заданного коэффициента стабилизации;

2 Выбрать типы используемых транзисторов, стабилитрона (по справочнику), резисторов и конденсаторов в соответствии с их номинальными значениями.

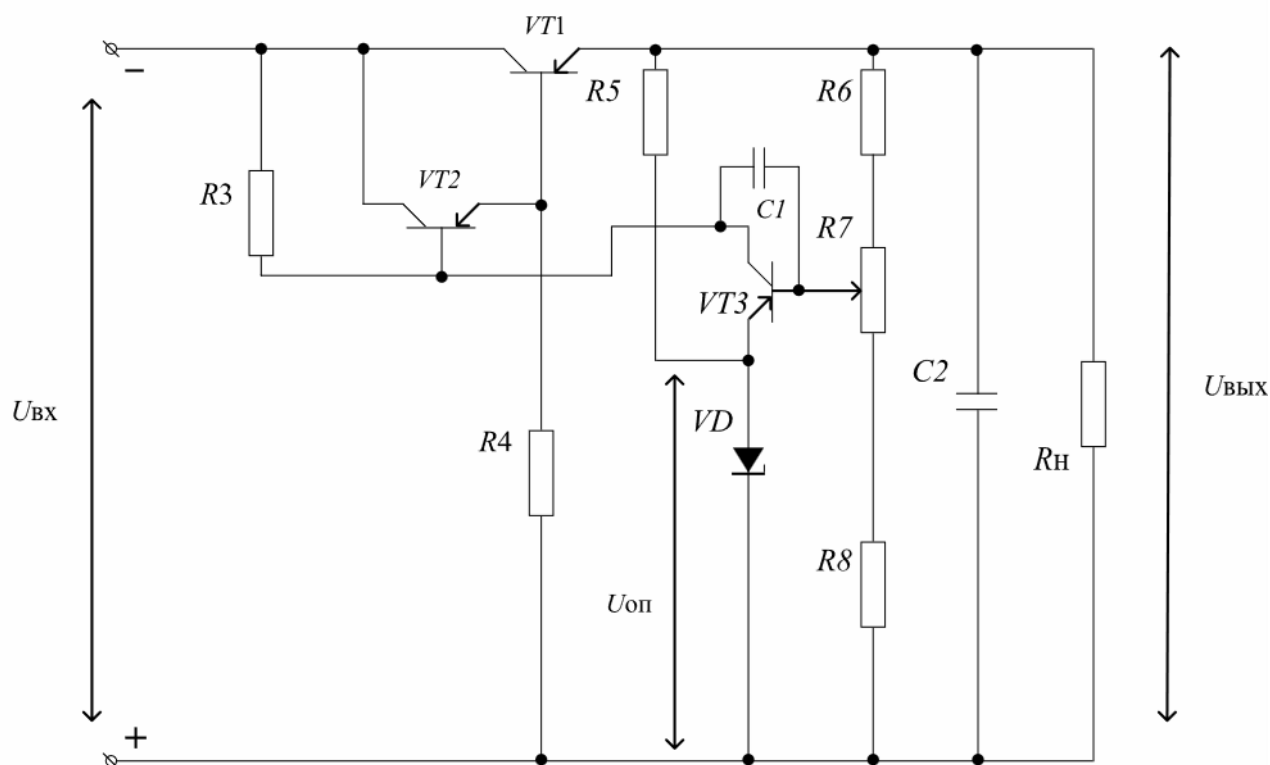


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема компенсационного стабилизатора напряжения

Для этого:

1 Выбрать тип регулирующего транзистора $VT1$ и его режима:

$$U_{\text{вхmin}} = U_{\text{вых}} + \Delta U_{\text{вых}} + |U_{\text{КЭ1min}}|,$$

где $|U_{КЭ1\min}|$ – минимальное напряжение между коллектором и эмиттером транзистора $VT1$, при котором его работа не заходит в область насыщения.

Для мощных транзисторов, которые используются в качестве регулирующего элемента $|U_{КЭ1\min}| = 1 \div 3 \text{ В}$. При расчете принимают. $|U_{КЭ1\min}| = 3 \text{ В}$.

Так как допустимые относительные изменения входного напряжения (по заданию) $\Delta U_{\text{вх}}/U_{\text{вх}} = 10\%$, то номинальное значение входного напряжения

$$U_{\text{вх}} = 1,1 \cdot U_{\text{вхmin}},$$

а максимальное значение входного напряжения

$$U_{\text{вх max}} = 1,1 \cdot U_{\text{вх}}.$$

Найти $U_{КЭ1\max}$ и максимальную мощность, рассеиваемую на регулирующем транзисторе $P_{\text{Кmax}}$:

$$|U_{КЭ1\max}| = U_{\text{вхmax}} - U_{\text{выхmin}}, \text{ т. к. } U_{\text{вых min}} = U_{\text{вых}} - \Delta U_{\text{вых}};$$

$$P_{\text{Кmax}} = |U_{КЭ1\max}| \cdot I_{\text{н}}.$$

Выбираем по справочнику [7] транзистор, для которого значения $P_{\text{Кmax}}$ и $U_{КЭ1\max}$ должны быть больше или равны расчетным, а также указываем справочные значения $I_{\text{к max}}$ и $h_{21\text{э}}$.

2 Выбор типа согласующего транзистора $VT2$ и его режима.

Коллекторный ток транзистора $VT2$:

$$I_{\text{к2}} \approx I_{\text{э2}} = I_{\text{Б1}} + I_{\text{Р4}} = \frac{I_{\text{К1}}}{h_{21\text{э}}} + I_{\text{Р4}} = \frac{I_{\text{н}}}{h_{21\text{э}}} + I_{\text{Р4}},$$

$$\text{т. к. } I_{\text{Б}} = \frac{I_{\text{К}}}{h_{21}} \text{ и } I_{\text{К1}} = I_{\text{н}},$$

где I_{R_4} – дополнительный ток, протекающий через резистор R_4 . Для маломощных транзисторов, используемых в качестве согласующего элемента, дополнительный ток выбирают в пределах 1–2 мА.

Определяем максимальные значения напряжения $U_{KЭ2\max}$ и мощности P_{K_2} согласующего транзистора VT2:

$$|U_{KЭ2\max}| \approx |U_{KЭ1\max}|$$

$$P_K = I_{K_2} \cdot |U_{KЭ2\max}|.$$

Выбираем по справочнику транзистор, для которого параметры $I_{K\max}$, $|U_{KЭ2\max}|$, P_K должны быть больше или равны расчетным, а также указываем справочное значение $h_{21э}$.

3 Рассчитываем сопротивление резистора R_4 :

$$R_4 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{I_{R_4}}.$$

4 Выбор усилительного транзистора VT3 и его режима.

В качестве усилительного транзистора используют маломощные транзисторы. Обычно из технологических соображений транзисторы VT2, VT3 выбирают одного типа.

Задаемся напряжением $|U_{KЭ3}| \leq |U_{KЭ\max}|$.

Определяем опорное напряжение:

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{ВЫХ}} - |U_{KЭ3}|.$$

Выбираем стабилитрон (по справочнику) с опорным напряжением, близким к расчетному ($U_{\text{ст}}$ и $I_{\text{ст}}$).

5 Определяем значение ограничивающего сопротивления R_5 :

$$R_5 = \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ОП}}}{I_{\text{СТ}} - I_{\text{Э3}}},$$

$I_{\text{Э3}} \approx I_{\text{К3}}$, а $I_{\text{К3}}$ выбирают в пределах 1...1,5 мА.

Из уравнения Кирхгофа $U_{\text{ЭБ1}} + U_{\text{ЭБ2}} + U_{R3} - |U_{\text{КЭ1}}| = 0$.

С учетом того, что $U_{\text{ЭБ1}}, U_{\text{ЭБ2}} \approx 0$, получаем $U_{R3} \approx |U_{\text{КЭ1}}|$. Тогда в соответствии с принципиальной электрической схемой (рисунок 3) можем найти сопротивление R_3 :

$$R_3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}} \approx \frac{|U_{\text{КЭ1}}|}{I_{\text{К3}} + I_{\text{Б2}}}, \text{ где}$$

$I_{\text{К3}} \approx I_{\text{Э3}} = 1 \text{ мА}$, т. к. $I_{\text{К3}}$ выбирают в пределах 1...1,5 мА,

$$\text{а } I_{\text{Б2}} = \frac{I_{\text{К2}}}{h_{21\text{Э}}}.$$

6 Расчет делителей напряжения.

По схеме (рисунок 3) видно, что $U_{\text{ОП}} \approx (R_8 + 0,5R_7) \cdot I_{\text{дел}}$, где $I_{\text{дел}}$ – ток, протекающий через делитель R_6, R_7, R_8 .

$$\text{Получаем } R_7 = \frac{U_{\text{ОП}} - I_{\text{дел}} \cdot R_8}{0,5I_{\text{дел}}}.$$

Выбираем $I_{\text{дел}}$ из условия: $I_{\text{дел}} > (5 \div 10) I_{\text{Б3}}$.

$$\text{Примем } I_{\text{дел}} = 20 \cdot I_{\text{Б3}} = \frac{20I_{\text{К3}}}{h_{21\text{Э}}}.$$

Зададимся значением R_8 , тогда можно определить R_7 .

По схеме (рисунок 3) для контура $R_6, 0,5R_7$ и R_n можно записать как $I_{\text{дел}} (R_6 + 0,5R_7) \approx U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ОП}}$, откуда находим:

$$R_6 = \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ОП}} - 0,5 \cdot I_{\text{дел}} \cdot R_7}{I_{\text{дел}}}.$$

7 Выбор конденсаторов:

- емкость конденсатора C_1 , включаемого для предотвращения возбуждения стабилизатора, подбирают экспериментально, $C_1 \leq 0,5 \dots 1 \text{ мкФ}$;

- емкость конденсатора C_2 , включение которого приводит к незначительному уменьшению пульсаций выходного напряжения и уменьшению вы-

ходного сопротивления стабилизатора переменному току, выбирают в пределах 1000...2000 мкФ.

8 Определяем коэффициент стабилизации напряжения:

$$K_{\text{ст}} = K_{\text{дел}} \cdot K_3 \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}, \text{ где}$$

$$K_{\text{дел}} = \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\text{вых}}} - \text{коэффициент деления напряжения делителя } R6, R7, R8;$$

$$K_3 = \left(\frac{h_{21Э3}}{h_{11Э3}} \right) \cdot R3,$$

где $h_{11Э}$ – входное сопротивление транзистора $VT3$ (справочные данные).

Если значение $K_{\text{ст}}$ окажется недостаточным, то следует выбрать для транзисторов $VT2$ и $VT3$ из предлагаемого диапазона большее значение $h_{21Э}$, либо сами транзисторы $VT2$ и $VT3$ выбрать с большим коэффициентом усиления тока $h_{21Э}$, если значения из диапазона не удовлетворяют требованиям.

Раздел № 3

1 Спроектировать логическую схему управления по заданной логической функции, построенную только на логических элементах И-НЕ. Т. е. необходимо разработать логическое устройство управления на основе заданных логических элементов (И-НЕ), которое имеет четыре входных датчика, выходные сигналы которых являются двоичными ($X1, X2, X3, X4$ либо $X3, X4, X5, X6$) и два выхода ($Y1, Y2$ либо $Y3, Y4$), к которым подключаются исполнительные механизмы. Включение исполнительных механизмов осуществляется при наличии единичного сигнала на соответствующем выходе только при определенной комбинации значений сигналов на входных датчиках.

Для этого:

- преобразовать заданные десятичные числа в четырехразрядные двоичные коды (недостающие разряды заполнить нулями);
 - составить таблицу истинности для каждого выхода, в которой единице должны соответствовать только заданные наборы параметров;
 - записать логическое уравнение и упростить его с помощью карт Карно.
- Преобразовать полученное уравнение в соответствии с типом заданных логических элементов.

2 С моделировать логическую схему управления на компьютере с использованием программы *MICROCAP* (см. приложение Б), проверить ее работу, подав на входы заданные наборы параметров.

3 На листе графической части формата А4 привести смоделированную логическую схему управления.

Варианты заданий приведены в таблице 6.

Значения входных сигналов датчиков и выходных сигналов логической схемы управления выбираются по номеру в журнале преподавателя.

Таблица 6 - Варианты заданий для проектирования логической схемы управления

Номер вари- анта	Входные переменные						Выходные переменные			
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y1	Y2	Y3	Y4
1	1;6	0;5	2;8	1;9	0;7	0;8	1;2	2;4	3;6	2;7
2	4;7	2;5	1;8	0;6	3;7	4;6	1;5	3;0	7;4	3;9
3	6;8	7;10	3;8	6;10	5;9	6;4	10;12	2;7	13;9	5;12
4	7;3	8;10	12;6	8;10	3;13	5;10	8;5	14;9	2;7	3;14
5	2;9	4;12	15;3	5;14	3;15	1;13	13;15	12;11	10;8	11;6
6	15;13	3;8	7;6	12;8	9;13	10;15	1;11	8;10	2;14	10;9
7	12;1	15;2	11;3	13;2	6;11	7;14	12;14	5;9	13;15	4;10
8	14;4	3;2	13;5	2;14	12;4	7;9	15;9	2;9	12;9	3;10
9	12;5	12;3	11;7	11;3	15;5	10;6	14;15	9;10	15;9	8;11
10	14;5	3;4	11;9	10;7	2;11	12;6	15;0	2;9	13;7	1;14
11	8;7	11;0	13;4	11;1	12;9	13;9	11;14	1;15	3;10	7;13
12	11;7	13;4	14;0	5;15	9;12	14;2	4;10	15;6	11;1	0;12
13	10;2	9;1	15;7	3;11	10;12	3;13	4;14	2;15	10;5	11;2
14	15;1	3;13	7;9	5;9	11;2	15;2	10;11	4;9	12;13	6;7
15	2;9	12;8	5;14	0;14	13;10	9;12	2;3	11;10	4;5	9;14
16	9;1	0;12	10;2	13;0	3;14	11;5	13;14	8;9	12;15	5;10
17	8;11	12;10	9;14	7;11	3;15	7;14	1;12	0;13	3;14	10;1
18	5;9	12;13	3;10	12;5	15;9	15;11	11;7	1;14	12;2	9;0
19	6;8	1;5	9;12	0;9	15;12	7;8	0;2	11;3	3;4	11;10
20	7;6	3;15	9;13	0;8	2;14	10;12	3;6	12;4	4;9	10;13
21	8;12	6;10	1;12	3;12	14;4	7;9	12;9	5;10	13;7	10;3
22	6;15	8;12	11;1	15;2	10;7	14;1	5;15	8;10	1;14	4;7
23	13;2	10;11	4;9	2;9	0;12	8;10	2;9	14;0	3;15	13;2
24	13;0	2;12	7;14	7;11	10;11	2;14	1;12	5;8	10;13	9;15
25	10;1	12;7	11;14	9;2	13;12	9;8	11;2	10;9	15;13	11;10

Основные теоретические положения алгебры логики.

Аксиомы в случае одной переменной:

$$1)x + 0 = x \quad 6)x \cdot 0 = 0$$

$$2)x + 1 = 1 \quad 7)x \cdot 1 = x$$

$$3)x + x = x \quad 8)x \cdot x = x$$

$$4)x + \bar{x} = 1 \quad 9)x \cdot \bar{x} = 0$$

$$5)\overline{\overline{x}} = x \quad 10)\overline{\overline{(x)}} = x$$

Основные законы алгебры логики:

1 Переместительный закон для логического сложения и умножения:

$$x + y = y + x;$$

$$x \cdot y = y \cdot x.$$

2 Сочетательный закон для логического сложения и умножения:

$$x + y + z = (x + y) + z = x + (y + z);$$

$$x \cdot y \cdot z = (x \cdot y) \cdot z = x \cdot (y \cdot z).$$

3 Распределительный закон для логического сложения и умножения:

$$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z.$$

4 Законы инверсии (теоремы де Моргана) для логического сложения и умножения:

$$\overline{x + y + z} = \bar{x} \cdot \bar{y} \cdot \bar{z};$$

$$\overline{x \cdot y \cdot z} = \bar{x} + \bar{y} + \bar{z}.$$

Основные тождества алгебры логики:

$$1)x \cdot y + x \cdot \bar{y} = x; \quad 4)x \cdot (\bar{x} + y) = x \cdot y;$$

$$2)x + x \cdot y = x; \quad 5)(x + y) \cdot (x + z) = x + y \cdot z;$$

$$3)x \cdot (x + y) = x; \quad 6)x \cdot \bar{y} + y = x + y.$$

Логическая функция может быть записана аналитически различными сочетаниями операций сложения и умножения переменных. Однако с точки зрения представления логической функции и последующего синтеза логической схемы наиболее удобны формы записи, при которых функция выражается либо в виде суммы произведений переменных, либо в виде произведений их сумм. В первом случае запись логической функции называют дизъюнктивной нормальной формой (ДНФ), во втором случае конъюнктивной нормальной формой (КНФ).

Вместе с тем, имеется только один вид ДНФ и КНФ, в которых функция может быть записана единственным образом – это совершенные нормальные формы. СДНФ, в которых каждое слагаемое включает все переменные и нет одинаковых слагаемых, и СКНФ, в которой каждый сомножитель включает все переменные и нет одинаковых сомножителей.

Для выполнения раздела № 3:

1 Перевести десятичные значения входных и выходных сигналов в двоичные сигналы и записать их в таблицу.

2 Определить, для какой комбинации входных сигналов выходной сигнал равен 1 (соответственно для выхода Y_1 и выхода Y_2).

3 Составить таблицу истинности для каждого выхода.

4 По данным таблиц истинности записать логическую функцию для выхода Y_1 и выхода Y_2 , при этом $X = 1, \bar{X} = 0$, т. е. переменные входят в произведение в прямом виде, если их значение в строке при $Y = 1$ тоже равны 1, и в инверсном виде, если их значения равны 0.

5 Произвести минимизацию (упрощение формы записи) функций с использованием карты Карно.

6 Построить логическую схему управления только на элементах И-НЕ, воспользовавшись теоремой де Моргана.

Карта Карно представляет собой графическое изображение значений всех возможных комбинаций переменных. Каждый минтерм изображается в виде клетки. Минтерм – это произведение (конъюнкция) всех переменных, составляющих строки. Карта образуется путем такого расположения клеток, при котором минтермы соседних клеток отличаются только значением одной переменной. Символ «1» характеризует прямое значение переменной, а символ «0» - ее инверсное значение.

Минтермы минимизируемой функции отмечают единицами в соответствующих клетках карты. Минтермы, не входящие в функцию, отмечают нулями или оставляют пустыми. *Два минтерма, находящиеся в соседних клетках, могут быть заменены одним логическим произведением, содержащим на одну переменную меньше.*

Для трех переменных карта Карно будет выглядеть, как показано на рисунке 4.

Для минимизации функции по четырем переменным карта Карно будет выглядеть следующим образом (рисунок 5):

Выходные сигналы, равные единице, проставляются на пересечении комбинаций сигналов X_1 , X_2 , X_3 , X_4 .

Затем записывается упрощенное значение функций Y_1 и Y_2 .

		X_1X_2			
		00011110			
X_3	0				
	1				

Рисунок 4 – Карта Карно для трех переменных

		X_1X_2			
		00011110			
X_3X_4	00				
	01				
	10				
	11				

Рисунок 5 – Карта Карно для четырех переменных

Используя теорему де Моргана, преобразовать функции таким образом, чтобы построить логическую схему управления только на элементах И-НЕ.

Требования к оформлению курсового проекта (работы)

Оформление листов пояснительной записки

1 Текстовые материалы ПЗ выполняются на листах белой машинописной бумаги, оформленных рамками в соответствии с рисунком 6.

2 Основная надпись на листах пояснительной записки выполняется в соответствии с рисунком 7.

3 Листы записки и приложений имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Титульному листу, заданию на проектирование, реферату номера присваивают, но не проставляют. Номера страниц начинают проставлять с листа «Оглавление».

4 Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы и т. п.), расположенные на отдельных листах записки, включают в общую нумерацию страниц. При этом лист, формат которого больше формата А4, учитывают как одну страницу.

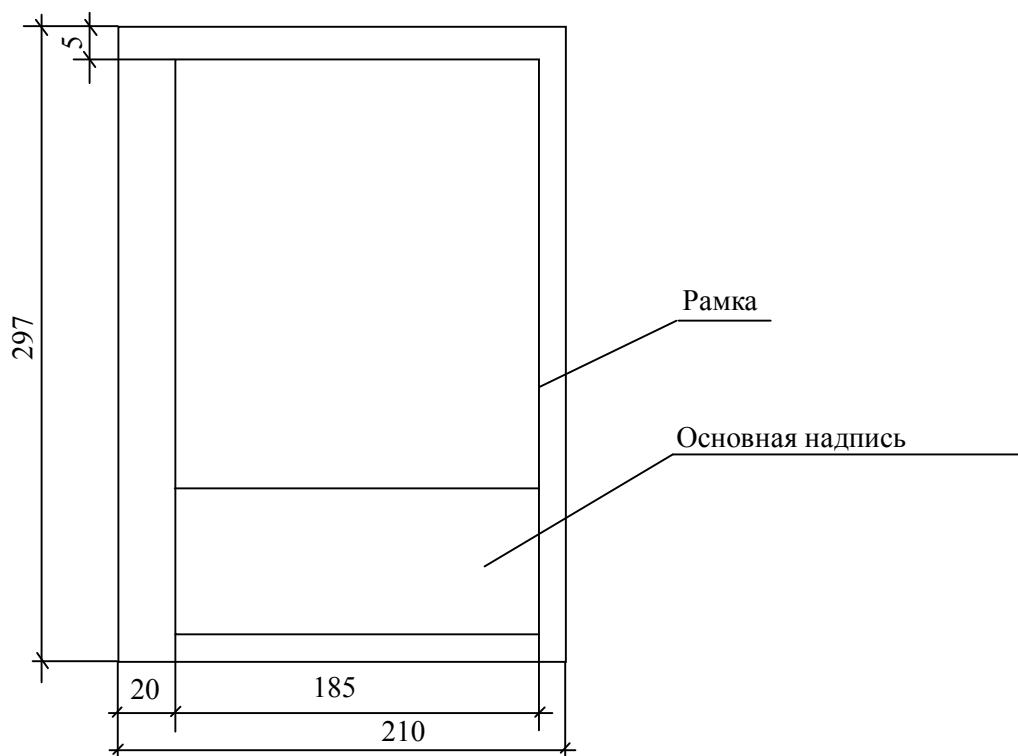


Рисунок 6 – Компоновка и размеры листа текстовой части ПЗ

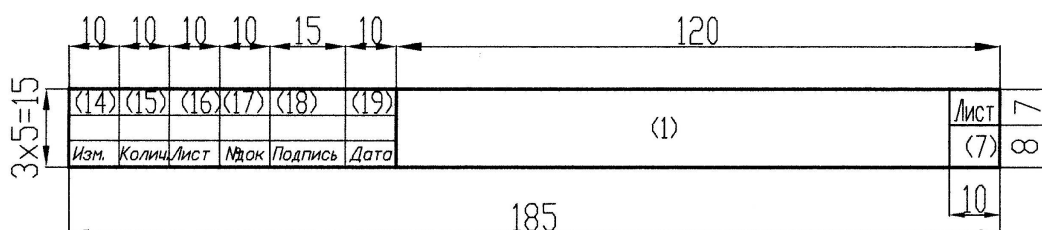


Рисунок 7 – Форма основной надписи для листов ПЗ

Правила построения текстового материала

1 Текстовый материал ПЗ подразделяют на разделы, подразделы, пункты.

Разделам присваивают порядковые номера, которые обозначают арабскими цифрами без точки и записывают с абзацного отступа.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделенные точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Если раздел или подраздел состоит из одного пункта, то пункт не нумеруется.

2 Разделы и подразделы и при необходимости пункты должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов, пунктов. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Заголовки подразделов (пунктов) не должны повторять содержание заголовков разделов (подразделов).

Заголовок записывается с прописной буквы. Точка в конце не ставится. Заголовки не подчеркиваются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

3 Каждый раздел ПЗ следует начинать с новой страницы.

Формулы

1 В пояснительной записке математические формулы могут быть расположены внутри текста или отдельными строками. Внутри текста помещают не сложные и не дробные формулы. Такие формулы, как правило, не нумеруют.

На отдельных строках приводят более сложные формулы, которые обычно сопровождаются пояснениями примененных символов. При этом выше и ниже формулы необходимо оставлять по одной свободной от записи строке.

2 Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

3 Если формула не умещается в одну строку, то делается перенос. Переносить формулу на следующую строку допускается только на знаках выполнения операций: плюс (+), минус (-), умножение ($\times$) или на знаках равенства (=), неравенства ($\neq$), знаках соотношений и т. п.

4 Все формулы, помещенные в тексте ПЗ, нумеруют арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа от нее в круглых скобках.

5 Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и номера формулы, разделенные точкой, например: (3.1).

Пример. Номинальный ток асинхронного электродвигателя I_n , А, определяется по формуле

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi_n \eta_n}, \quad (1)$$

где P_n - номинальная мощность, кВт;

U_n - номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi_n$ - коэффициент мощности, о. е.;

η_n - КПД электродвигателя, о. е.

Таблицы

1 Название таблицы должно отражать содержание таблицы, быть точным, кратким. Название следует размещать над таблицей после слова «Таблица».

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

2 Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенные точкой.

3 На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке необходимо писать слово «таблица» с указанием ее номера.

4 Заголовки граф и строк в таблице следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят.

Оформление проектной документации

1 **Проектной документации** присваивают обозначение, состоящее из базового цифрового обозначения, и через дефис - буквенного обозначения (см. структуру обозначения).

Структура базового обозначения при курсовом проектировании:

$X_1X_2.X_3X_4.X_5X_6X_7.X_8X_9 - X_{10}X_{11}X_{12}$,

где X_1X_2 - индекс работы: 02 - курсовой проект, 03 - курсовая работа;

X_3X_4 - индекс кафедры;

$X_5X_6X_7$ - номер варианта по заданию;

X_8X_9 - год разработки (две последние цифры года);

$X_{10}X_{11}X_{12}$ - для текстовых материалов - ПЗ, для графических материалов - марка разрабатываемого чертежа.

Примечание. Индексы кафедр:

АСУП - 49; ЭСХП - 43; электроснабжения сельскохозяйственного производства - 53; электротехнологии - 68; энергетики - 58; ППС - 24; электротехники - 45.

2 Основные надписи

Применение тех или иных форм основных надписей определяется назначением чертежа и материалом, помещенным на разрабатываемом чертеже:

1) форма рисунка 8 – для чертежей генпланов с инженерными сетями, планов зданий и сооружений с размещением оборудования, чертежей схем электрических, технологических и т. п.;

2) форма рисунка 9 – для первого листа ПЗ, с которого начинается изложение текстовой части;

Рисунок 8 – Форма основной надписи, которая применяется для листов графической части и листа ведомости комплекта проектной документации

Рисунок 9 – Форма основной надписи, которая применяется для листа ПЗ, с которой начинается изложение текстовой части записки (обычно лист «Оглавление»)

Указания о заполнении основной надписи

В графах основной надписи (на рисунках 2, 3, 4 номера граф показаны в скобках) указывают:

а) в графе 1 - обозначение проектной документации - маркировка документа:
- базовое обозначение;

- добавляемая через дефис марка разрабатываемых чертежей;

б) в графе 2 - тема курсового проекта (работы);

в) в графе 3 - наименование здания (сооружения). Для чертежа генерального плана в графе 3 записывают наименование соответствующего раздела, например «электроснабжение», «теплоснабжение» или «диспетчеризация», «диспетчерское управление»;

г) в графе 4 - наименование изображения или материала, помещенного на данном листе, т. е. название чертежа, листа.

Если на листе приведены несколько материалов (например, план здания, разрез II–II, экспликация, перечень элементов, сечение «А–А» и т. п.), то в название чертежа включают основные материалы, второстепенные – опускают;

д) в графе 5 - наименование документа аналогично графе 4 (обычно – «Пояснительная записка»);

е) в графе 6 - условное обозначение стадии проектирования: «С» (строительный проект);

ж) в графе 7 - порядковый номер листа. На документе, состоящем из одного листа, графу не заполняют;

з) в графе 8 - общее число листов документа;

и) в графе 9 на первой строке записывают наименование организации, разработавшей документ (БГАТУ), на второй строке – шифр зачетки студента;

к) в графе 10 - характер работы: «разработал» (студент); в следующей строке - «руководитель», далее - «консультант», «нормоконтролер», «зав. кафедрой»;

л) в графе 11 - фамилии студента, руководителя, консультанта(ов), нормоконтролера, зав. кафедрой в соответствующих строках;

м) в графе 12 - подписи;

н) в графе 13 - даты.

Графы 14–19 в дипломных и курсовых проектах не заполняются.

Список использованных источников

1. Матвееenko, И. П. Электроника : пособие / И. П. Матвееenko. – Минск : БГАТУ, 2020. – 288 с.
2. Миловзоров, О. В. Электроника : учебник / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – 6-е изд., пер. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – 344 с.
3. Миленина, С. А. Электротехника, электроника и схемотехника : учебник и практикум для академического бакалавриата / С. А. Миленина, Н. К. Миленин, Н. К. Миленина. – 2-е изд., пер. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – 434 с.
4. Кузовкин, В. А. Электротехника и электроника : учебник для СПО / В. А. Кузовкин; В. В. Филатов. – М. : Юрайт, 2019. – 431 с.
5. Бобровников, Л. З. Электроника : в 2 ч. : учебник для академического бакалавриата / Л. З. Бобровников. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – 288 с.
6. Бобровников, Л. З. Электроника : в 2 ч. : учебник для академического бакалавриата / Л. З. Бобровников. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2022. – Ч. 2. – 276 с.
7. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник для вузов / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. – 11-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2021. – 736 с.
8. Матвееenko, И. П. Электроника. Лабораторный практикум / И. П. Матвееenko, Т. А. Костикова. – Минск : БГАТУ, 2021. – 168 с.
9. Галкин, В. И. Полупроводниковые приборы. Транзисторы широкого применения : справочник / В. И. Галкин, А. Л. Булычев. – Минск : Беларусь, 1995. – 383 с.
10. Галкин, В. И. Полупроводниковые приборы : справочник / В. И. Галкин. – Минск : Беларусь, 1987. – 321 с.
11. Разевиг, В. Д. Система схемотехнического проектирования Micro-CAP V / В. Д. Разевиг. – М. : «СОЛОН», 1997. – 273 с.
12. Общие требования к организации и оформлению дипломных и курсовых проектов (работ) / В. В. Гурин [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014. – 139 с.

Технические нормативные правовые акты

13. Правила выполнения электрических схем : ГОСТ 2.702–2011: ЕСКД. – Взамен ГОСТ 2.702–75 ; введ. 2013-11–01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 28 с.
14. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах : ЕСКД. – ГОСТ 2.710–81 (СТ СЭВ 2182–80). – Взамен ГОСТ 2.710–75 ; введ. 1981-07–01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 14 с.

15. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники : ЕСКД. – ГОСТ 2.743–91. Взамен ГОСТ 2.743–82 ; введ. 1993-01–01. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 45 с.

16. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники : ЕСКД. – Введ. 07-01–1983. – М. : Издательство стандартов, 1982. – 14 с.

17. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. ГОСТ 19.701–90 (ИСО 5807–85). ЕСПД. – Взамен ГОСТ 19.003-80 ; введ. 01-01-1992. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 26 с.

Интернет ресурсы

18. Москатов, Е. А. Справочник по полупроводниковым приборам. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://nice.artip.ru/ea-moskatov-spravochnik-po-poluprovodnikovym-priboram>. – Дата доступа: 26.08.2025.

19. Козак, В. Р. Справочники по полупроводниковым приборам. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.inp.nsk.su/~kozak/hbks.htm>. – Дата доступа: 26.08.2025.

20. Зайцев, А. А. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник /А. А. Зайцев; А. И. Миркин; В. В. Мокряков [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://archive.org/details/B-001-014-433>. – Дата доступа: 26.08.2025.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Пример выполнения курсовой работы

Пример оформления титульного листа

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Агроэнергетический факультет

Кафедра АСУП

Курсовая работа

по дисциплине «Электронные компоненты и схемотехника»

Вариант № 29 (10)

Тема: «Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты с заданными параметрами, двухполупериодного мостового выпрямителя с CLC-фильтром и стабилизатора напряжения, проектирование логической схемы управления по заданной логической функции»

Студент 2 курса 1а группы

_____/Петров П.И./
(личная подпись) (ФИО)

Шифр зачетной книжки

1326029

Руководитель

_____/Матвеев И.П./
(личная подпись) (ФИО)

Минск, 2025

Пример оформления задания на курсовую работу

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Агроэнергетический факультет
Специальность 6-05-0713-04
(шифр)

«Утверждаю»

Зав. кафедрой

_____ / Матвейчук Н.М. /
(личная подпись) (ФИО)

«__» _____ 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на курсовую работу

по дисциплине «Электронные компоненты и схемотехника»

Обучающемуся Петрову П.И.

Курс 2 Учебная группа 21а

Специальность 6–05–0713–04 Автоматизация технологических процессов и производств. Профилизация: Автоматизация и роботизация в АПК

Тема курсовой работы «Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты с заданными параметрами (по вариантам), двухполупериодного мостового выпрямителя с *CLC*-фильтром и стабилизатора напряжения, проектирование логической схемы управления по заданной логической функции (по вариантам)»; вариант 29 для 1 и 2 разделов, вариант 10 для 3 раздела

Исходные данные к курсовой работе:

1) задание; 2) научная литература по теме проекта; 3) учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы; 4) ГОСТы и другие нормативные материалы

Перечень подлежащих разработке вопросов:

Введение.1 Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты

1.1 Расчет усилителя напряжения низкой частоты

1.2 Моделирование и исследование усилителя напряжения низкой частоты на компьютере

2 Проектирование схемы выпрямителя

2.1 Расчет и проектирование схемы однофазного мостового выпрямителя с П-образным CLC-фильтром

2.2 Расчет компенсационного стабилизатора напряжения

3 Проектирование логической схемы управления

3.1 Проектирование логической схемы управления по заданной логической функции на элементах И-НЕ

3.2 Минимизация логической функции с помощью карт Карно

Заключение.

Перечень графического материала:

1) Схема принципиальная электрическая низкочастотного усилителя на-
пряжения (ф.А4)

2) Схема принципиальная электрическая однофазного мостового выпря-
мителя с CLC-фильтром (ф.А4)

3) Схема принципиальная электрическая компенсационного стабилиза-
тора напряжения (ф.А4)

4) Логическая схема управления на логических элементах (ф.А4)

Примерный календарный график выполнения курсовой работы:

Раздел 1, чертеж 1 (40) - 15.04.2025 г.

Раздел 2, чертеж 2, чертеж 3 (40) - 15.05.2025 г.

Раздел 3, чертеж 4 (20) -05.06.2025 г.

Дата выдачи задания: 20.02.2025 г.

Срок сдачи законченного проекта: 05.06.2025 г.

Руководитель _____/Матвеев И.П./
(подпись) ФИО

Подпись обучающегося _____/Петров П.И./
(подпись студента) ФИО

Дата: 20.02.2025 г.

Реферат

Курсовая работа выполнена на 34 страницах машинописного текста и содержит 7 рисунков, 2 таблицы.

Графическая часть проекта представлена на 4 листах формата А4.

Ключевые слова: схема электрическая принципиальная, усилитель, выпрямитель, фильтр, стабилизатор, моделирование, временные диаграммы, логическая схема.

В курсовой работе произведены расчет и моделирование на компьютере низкочастотного усилителя, мостовой схемы выпрямителя с П-образным *CLC*-фильтром, компенсационного стабилизатора напряжения, произведен выбор элементов принципиальных электрических схем этих устройств, получены временные диаграммы их работы.

Спроектирована логическая схема управления на логических элементах И-НЕ по заданной логической функции, проверена правильность ее работы.

Оглавление

Задание на курсовую работу.....	2
Реферат.....	4
Введение.....	6
1 Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты.....	9
1.1 Расчет усилителя напряжения низкой частоты.....	9
1.2 Моделирование и исследование усилителя напряжения низкой частоты на компьютере.....	15
2 Проектирование схемы выпрямителя.....	18
2.1 Расчет и моделирование схемы однофазного мостового выпрямителя с П-образным <i>CLC</i> -фильтром.....	18
2.2 Расчет компенсационного стабилизатора напряжения.....	23
3 Проектирование логической схемы управления.....	29
3.1 Проектирование логической схемы управления по заданной логической функции на элементах И-НЕ.....	29
3.2 Минимизация логической функции с помощью карт Карно.....	31
Заключение.....	32
Список использованных источников.....	34
Приложения.....	36

					03.49.029.25 - ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты, мостового выпрямителя с <i>CLC</i> -фильтром и стабилизатора напряжения, проектирование логической схемы управления				Стадия	Лист	Листов	
Разраб.		Петров П.И.										
Руковод.		Матвеев										
Консульт.		Матвеев										
Нормоконтр.												
Зав.кафед.		Матвейчук										
					БГАТУ №1326029							

Введение

Очень широкое применение в современной технике имеют усилители, у которых как управляющая, так и управляемая энергия представляет собой электрическую энергию. Такие усилители называют усилителями электрических сигналов.

Управляющий источник электрической энергии, от которого усиливаемые электрические колебания поступают на усилитель, называют источником сигнала, а цепь усилителя, в которую эти колебания вводятся, входной цепью или входом усилителя. Источник, от которого усилитель получает энергию, преобразуемую им в усиленные электрические колебания, назовем основным источником питания. Кроме него, усилитель может иметь и другие источники питания, энергия которых не преобразуется в электрические колебания. Устройство, являющееся потребителем усиленных электрических колебаний, называют нагрузкой усилителя или просто нагрузкой; цепь усилителя, к которой подключается нагрузка, называют выходной цепью или выходом усилителя.

Усилители электрических сигналов (далее просто усилители), применяются во многих областях современной науки и техники. Усилители широко применяются в телемеханике, автоматике, счетно-решающих и вычислительных устройствах, в аппаратуре ядерной физики, химического анализа, геофизической разведки, точного времени, медицинской, музыкальной и во многих других приборах.

По назначению усилители различают: усилители мощности (управление большой выходной мощности с помощью изменения входного напряжения) и усилители напряжения (повышение напряжения до определенной величины).

В большинстве случаев усилитель служит для увеличения мощности сигнала, отдаваемого в нагрузку. Однако поскольку для управления электронной лампой в режиме без сеточных токов достаточно одного только напряжения, предварительные каскады маломощных усилителей фактически являются усилителями напряжения. Транзисторы же имеют конечное входное

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сопротивление (единицы или десятки кОм) и потребляют значительный входной ток, поэтому все транзисторные усилительные каскады являются усилителями мощности.

Выпрямителями называют электронные устройства для преобразования энергии переменного тока в энергию постоянного тока. Их относят к вторичным источникам питания в отличие от генераторов, аккумуляторов, которые называют первичными. Однофазные выпрямители применяют на малые и средние мощности. Выпрямитель в общем случае содержит: трансформатор T (для согласования напряжения сети U_1 с требуемым напряжением нагрузки U_n и устранения электрической связи между цепью переменного и постоянного тока); вентильную группу (для преобразования переменного тока в однонаправленный выпрямленный); сглаживающий фильтр (для уменьшения пульсаций U_n); стабилизатор постоянного напряжения.

Основным узлом является вентильная группа (кремниевые, реже германиевые диоды, выпрямительные блоки), остальные узлы могут отсутствовать.

Стабилизатор напряжения (или тока) – это устройство, автоматически обеспечивающее поддержание напряжения (или тока) нагрузочного устройства с заданной степенью точности.

Напряжение (или ток) нагрузочного устройства может сильно изменяться при воздействии внешних дестабилизирующих факторов, каковыми являются: изменение напряжения в сети, изменение температуры, колебание частоты тока и т. д. Чтобы эти факторы не оказывали влияния на работу электрических устройств, применяют стабилизаторы.

Математической основой цифровой электроники и вычислительной техники является алгебра логики или булева алгебра (по имени английского математика Джона Буля).

В булевой алгебре независимые переменные или аргументы (X) принимают только два значения: 0 или 1. Зависимые переменные или функции (Y) также могут принимать только одно из двух значений: 0 или 1.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Логический элемент – это электронное устройство, реализующее одну из логических операций. Логические элементы представляют собой электронные устройства, в которых обрабатываемая информация закодирована в виде двоичных чисел, отображаемых напряжением (сигналом) высокого и низкого уровня. Термин «логические» пришел в электронику из алгебры логики, оперирующей с переменными величинами и их функциями, которые могут принимать только два значения: «истинно» или «ложно». Эти двоичные переменные и функции от них называются логическими переменными и логическими функциями. Устройства, реализующие логические функции, называются логическими или цифровыми устройствами.

Логические элементы по режиму работы подразделяются на статические и динамические. Статические ЛЭ могут работать как в статическом, так и динамическом (импульсном) режимах. Статические элементы наиболее широко используются в современных микросхемах. Динамические ЛЭ могут работать только в импульсном режиме.

Логические элементы широко используются при создании схем управления различными исполнительными устройствами.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты

1.1 Расчет усилителя напряжения низкой частоты

Исходные данные:

1 Тип транзистора: 2N6520-биполярный, $p-n-p$ типа;

2 $U_{\text{вх}} = 50$ мВ;

3 $K_U = 3$;

4 $E_{\text{к}} = 10$ В;

5 $f_{\text{н}} = 250$ Гц.

При расчете усилителя целесообразно придерживаться следующей последовательности:

1 Для данного типа транзистора выбираем из справочника [9, 10]:

Выбираем для транзистора 2N6520:

– статический коэффициент передачи тока для схемы с ОЭ в режиме малого сигнала $h_{21Э} = (20 \dots 40)$, выбираем среднее значение 30;

– максимально допустимое напряжение коллектор – эмиттер $U_{\text{кэmax}} = 15$ В;
 $U_{\text{кэmax}} > E_{\text{к}}$.

2 Производим выбор режима работы транзистора по постоянному току.

Находим амплитуду тока коллектора $I_{\text{км}}$, для этого определяем:

– значение выходного напряжения:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot K_U = 0,05 \cdot 3 = 0,15 \text{ В};$$

– сопротивление коллектора выбираем из условия:

$$R_{\text{к}} \approx (0,5 \div 2) \text{ кОм}.$$

Выбираем $R_{\text{к}} \approx 0,7 \text{ кОм}$.

– $I_{\text{км}} = U_{\text{вых}} / R_{\text{н}}$,

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

где R_H – сопротивление на выходе усилительного каскада (сопротивление нагрузки или по-другому – входное сопротивление следующего каскада).

При определении R_H исходим из условия:

$$R_K \gg R_H.$$

Определяем ориентировочно R_H :

$$R_H \approx 0,05 \cdot R_K \approx 35 \text{ Ом.}$$

Тогда

$$I_{km} = 0,15 \text{ В} / 35 \text{ Ом} = 4,3 \text{ мА.}$$

3 Определим постоянную составляющую тока коллектора:

$$I_{KO} \geq I_{km} / k_3,$$

где k_3 – коэффициент запаса, не должен превышать (0,7...0,95), т. к. тогда могут возникнуть нелинейные искажения, при $k_3 < 0,7$ ухудшается к.п.д. каскада. Тогда

$$I_{KO} \geq 4,3 / 0,7 \approx 6 \text{ мА.}$$

Значение $U_{KЭO}$ принимаем равное типовому значению $U_{KЭO} = -5 \text{ В.}$

На выходных характеристиках (рис. 1.1) отмечаем точку покоя П с координатами I_{KO} , $U_{KЭO}$ и находим I_{BO} (для примера $I_{BO} = 200 \text{ мкА}$). Эту точку П переносим на семейство входных характеристик (рисунок 1.2) и определяем при данных I_{BO} и $U_{KЭO}$ значения напряжения база-эмиттер $U_{БЭO}$. (для примера $U_{БЭO} = 0,25 \text{ В}$). Если т. п. не находится ни на одной из характеристик, следует изменить R_K и повторить пункты, начиная с п. 2.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
						10
Изм.		№ докум.	Подпись	Дата		

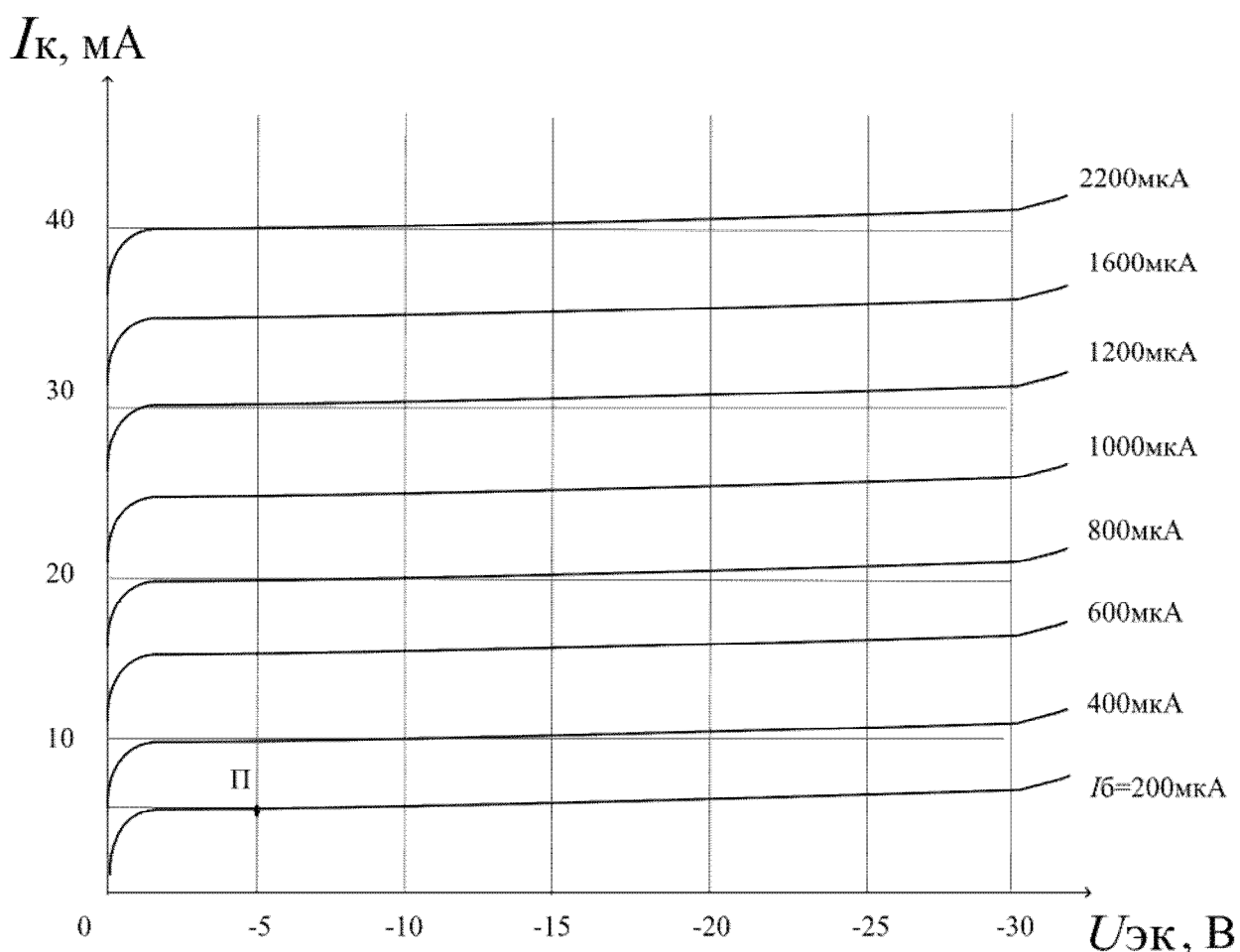


Рисунок 1.1 – Семейство выходных характеристик транзистора

4 Определяем входное сопротивление транзистора с ОЭ переменному току по входной характеристике транзистора. Для этого проводим касательную в рабочей точке (на семействе входных характеристик касательная проводится ближе к прямолинейному участку, рисунок 1.2) и находим тангенс угла наклона в этой точке, т. е. $\Delta U_{бэ}$ и $\Delta I_б$:

$$R_{вхэ} = \Delta U_{бэ} / \Delta I_б = (0,16 \text{ В} / 0,8 \text{ мА}) = 200 \text{ Ом}.$$

5 Определяем общее сопротивление коллекторной цепи постоянному току:

$$R_k + R_э \approx (E_k - |U_{кэ0}|) / I_{к0} = (10 - 5) \text{ В} / 6 \text{ мА} = 833 \text{ Ом}.$$

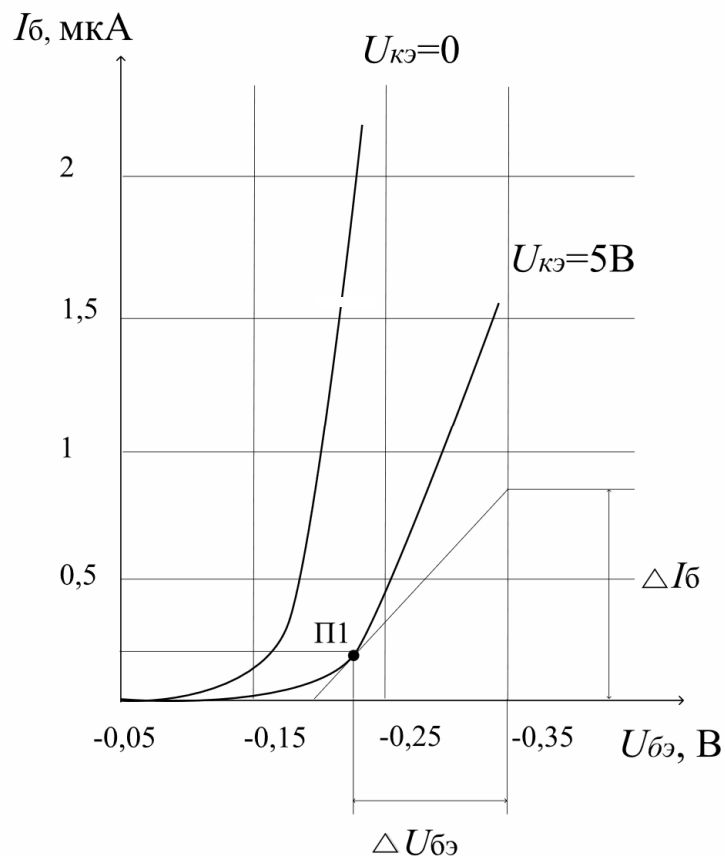


Рисунок 1.2 – Семейство входных характеристик транзистора

6 Произведем расчет схемы УНЧ по переменному току:

– определяем коэффициент усиления каскада без отрицательной обратной связи (ООС):

$$K_{\text{без ООС}} = h_{21Э} \cdot (R_{\text{н}} / R_{\text{вхЭ}}) = 30 \cdot (35 / 200) = 5,25;$$

– коэффициент усиления каскада с отрицательной обратной связью (ООС) задан:

$$K_{\text{ООС}} = K_U = 3;$$

– коэффициент передачи цепи ОС усилителя с ООС:

$$\gamma = (K_{\text{без ООС}} - K_{\text{ООС}}) / (K_{\text{без ООС}} \cdot K_{\text{ООС}}) = (5,25 - 3) / (5,25 \cdot 3) = 0,14;$$

- определяем сопротивление, стоящее в цепи эмиттера и обеспечивающее ООС в усилителе:

$$R_3 = (\gamma \cdot R_H \cdot h_{21Э}) / (h_{21Э} + I) = (0,14 \cdot 30) / (30 + 1) = 4,7 \text{ Ом.}$$

7 Уточняем сопротивление коллектора:

$$R_K = (R_K + R_3) - R_3 = (833 - 4,7) \approx 828 \text{ Ом.}$$

8 Находим сопротивление резисторов в цепи базы:

$$\begin{aligned} R1 &= (E_K - (I_{KO} + I_{BO}) \cdot R_3) / I_{BO} = \\ &= (10 - (6 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-3}) \cdot 4,7) / 0,2 \cdot 10^{-3} \approx 50 \text{ кОм;} \end{aligned}$$

$$R2 \approx R1 = 50 \text{ кОм.}$$

9 Определяем емкость блокировочного конденсатора C_3 :

R_{II} - внутреннее сопротивление источника усиливаемого сигнала, которое определяется как

$$\frac{1}{R_{II}} = \frac{1}{R_K} + \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \approx 0,00124.$$

Тогда $R_{II} = 806 \text{ Ом.}$

Коэффициент частотных искажений учитывает влияние блокировочного конденсатора на частотные искажения:

$$M_{c3} \approx 1,18$$

					03.49.029.25- ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$C_9 \geq \frac{h_{219}}{2\pi f_H (R_{\text{И}} + R_{\text{ВХ9}}) \sqrt{M_{\text{с9}}^2 - 1}} = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot (806 + 200) \sqrt{1,41 - 1}} = 30 \text{ мкФ}$$

Тогда $C_9 \geq 30 \text{ мкФ}$.

10 Определяем емкости разделительных конденсаторов $C1$ и $C2$:

$$C2 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_{\text{Н}} + R_{\text{К}}) \sqrt{M_{\text{C2}}^2 - 1}} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot (35 + 828) \cdot \sqrt{1,18 - 1}} \geq 1,8 \text{ мкФ}.$$

$$M_{\text{C2}} = M_{\text{C1}} \approx 1,09;$$

Тогда выбираем предварительно

$$C2 = 2,5 \text{ мкФ};$$

$$C1 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_{\text{ВХ9}} + R_{\text{ВЫХД}}) \sqrt{M_{\text{C1}}^2 - 1}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 200 \cdot \sqrt{1,18 - 1}} \geq 7,5 \text{ мкФ};$$

где $R_{\text{ВЫХД}}$ – выходное сопротивление делителя. Если $R_{\text{ВЫХД}}$ неизвестно, то обычно полагают $R_{\text{ВЫХД}} = 0$.

Выбираем

$$C1 = 7,5 \text{ мкФ};$$

11 Общее входное сопротивление УНЧ:

$$R_{\text{ВХ ус}} = R_{\text{ВХ9}} + R_9 (h_{219} + 1) = 200 + 4,7(30 + 1) = 351 \text{ Ом}.$$

					03.49.029.25- ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Моделирование и исследование усилителя напряжения низкой частоты на компьютере

1 Создаем принципиальную электрическую схему усилителя с рассчитанными параметрами элементов с помощью программы *MICROCAP* на компьютере в соответствии с приложением Б.

2 Уточняем параметры резисторов и конденсаторов в схеме, выбрав их в соответствии с номинальными значениями (Приложение В). Корректируем схему.

Спроектированная принципиальная электрическая схема приведена на листе 1 графической части.

3 Получаем временные диаграммы для входного и выходного напряжений, представленные на рисунке 1.3, на которых указываем амплитудные значения этих напряжений ($U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$).

4 По временным диаграммам видно, что рассчитанный усилительный каскад усиливает входное напряжение $U_{\text{вх}}$ в соответствии с заданным коэффициентом $K_U = 3$, т. к. $U_{\text{вх}} = 50$ мВ, а $U_{\text{вых}} \approx 150$ мВ.

5 Получаем амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в двух вариантах:

– зависимость коэффициента усиления по напряжению $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ от частоты (на рисунке 1.4 – верхний график);

– зависимость коэффициента усиления, выраженного в дб , от частоты (на рисунке 1.4 – средний график), и фазочастотную характеристику (ФЧХ) (на рисунке 1.4 – нижний график) рассчитанного усилительного каскада (УК), как указано в приложении Б.

АЧХ и ФЧХ показаны на рисунке 1.4.

На АЧХ определяем значение нижней граничной частоты $f_n = 1$ кГц.

На ФЧХ указываем угол сдвига фаз между входным и выходным напряжениями на частоте 100 Гц ($\phi = 110^\circ$) и на частоте 10 МГц ($\phi = 180^\circ$).

					03.49.029.25- ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

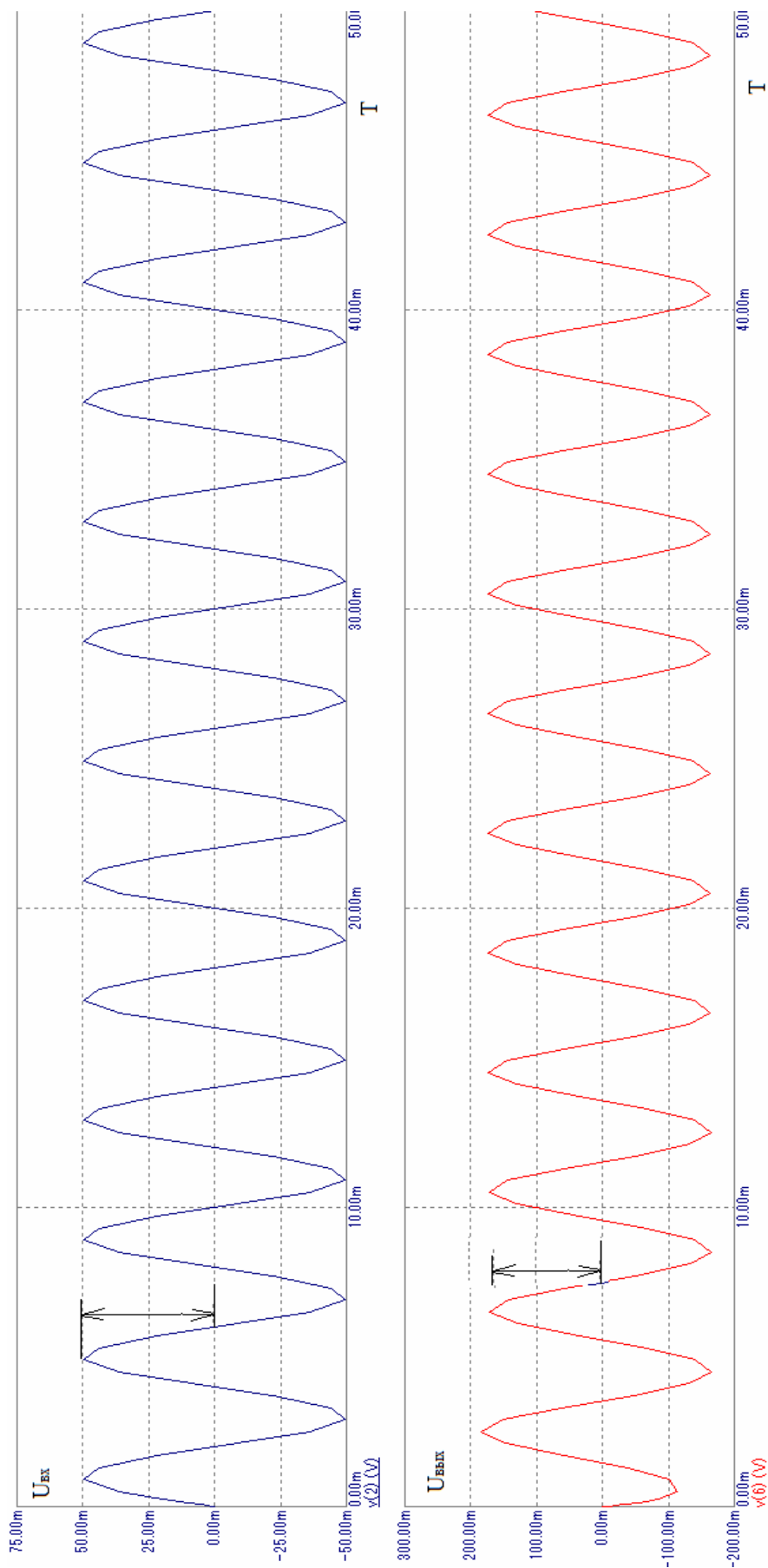


Рисунок 1.3 – Временные диаграммы входного и выходного напряжений усилителя

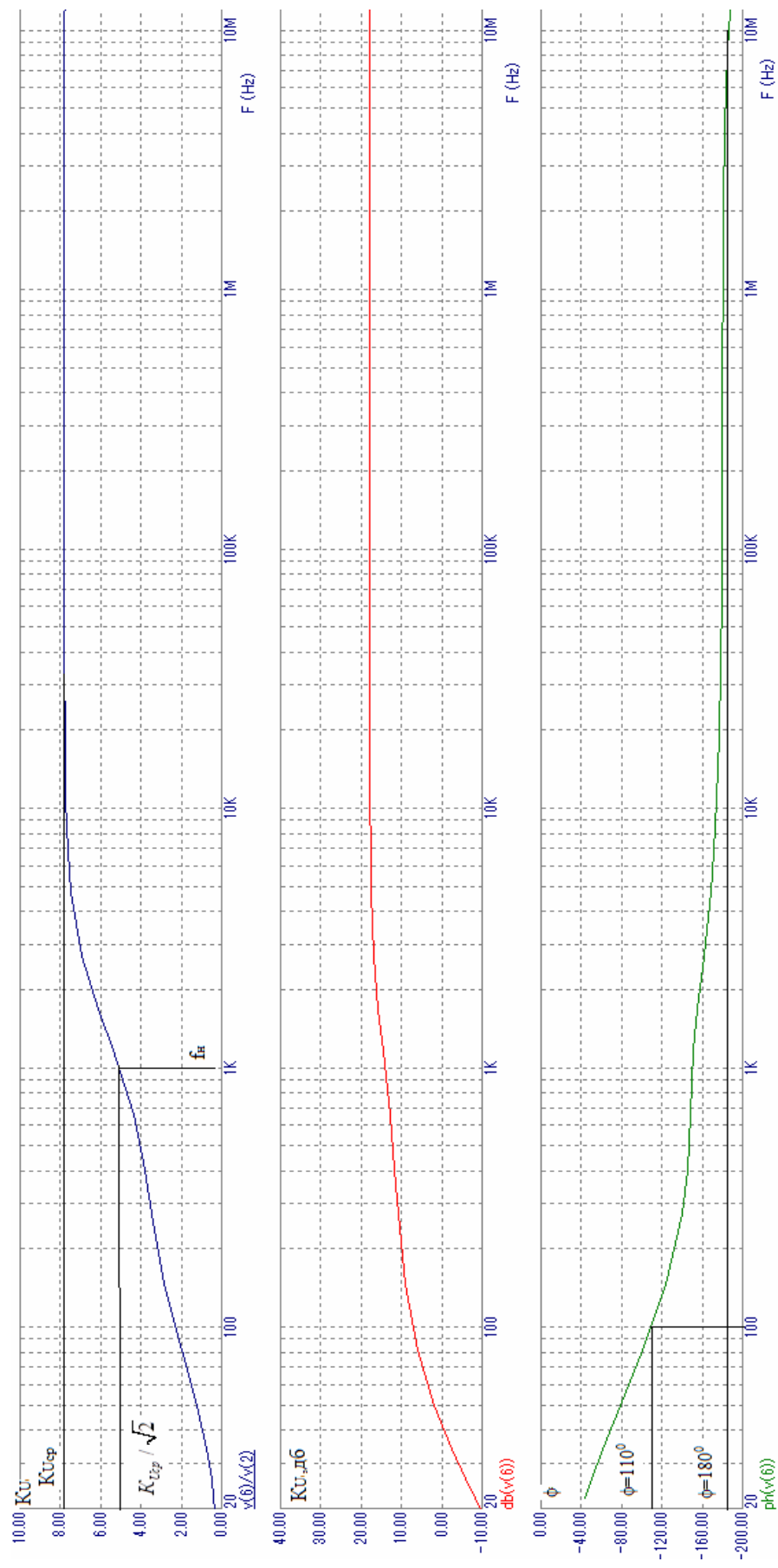


Рисунок 1.4 – Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2 Проектирование схемы выпрямителя

2.1 Расчет и моделирование схемы однофазного мостового выпрямителя с П-образным CLC -фильтром

Исходные данные:

- напряжение на нагрузке $U_n = 40$ В;
- сопротивление нагрузки $R_n = 100$ Ом;
- напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_1 = 220$ В.
- коэффициент пульсаций мостового выпрямителя с П-образным $C_{\phi 1} L_{\phi} C_{\phi 2}$ фильтром $p_2 = 0,005$.

1 Определяем постоянную составляющую выпрямленного тока (ток нагрузки) I_n :

$$I_n = U_n / R_n = 40 / 100 = 0,4 \text{ А.}$$

2 Определяем действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора U_2 , воспользовавшись таблицей 4, где указаны количественные соотношения напряжений, токов и мощностей для различных схем выпрямления:

$$U_2 = 1,11 U_n = 1,11 \cdot 40 = 44,4 \text{ В.}$$

3 Определяем действующее значение тока, протекающего через вторичную обмотку трансформатора:

$$I_2 = 1,11 \cdot I_n = 1,11 \cdot 0,4 = 0,444 \text{ А.}$$

4 Максимальное значение обратного напряжения на закрытом диоде (таблица 4):

					03.49.029.25- ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

$$U_{\text{обрmax}} = 1,57 \cdot U_{\text{н}} = 1,57 \cdot 40 = 62,8 \text{ В.}$$

5 Так ток через диоды протекает полпериода, то среднее значение тока диода равно:

$$I_{\text{пр}} = 0,5 \cdot I_{\text{н}} = 0,5 \cdot 0,4 \text{ А} = 20 \text{ мА.}$$

6 Выбираем диоды по двум параметрам: $I_{\text{пр}}$ и $U_{\text{обр.max}}$, которые должны быть не менее расчетных значений. Выбираем по справочнику [9, 10, 18–20, интернет ресурсы] диод КД208А, который имеет $I_{\text{пр.max}} = 1,5 \text{ А}$, $U_{\text{обр.max}} = 100 \text{ В}$.

7 Определяем зарубежный аналог выбранного диода по справочнику [9, 10, 18–20, интернет-ресурсы]. Для нашего примера зарубежный аналог диода КД208А - это диод *1N1053*. Этот диод будет использоваться при моделировании схемы в *MICROCAP*.

8 Для выбора типового трансформатора определяем расчетную мощность трансформатора:

$$P_{\text{Трасч}} = 1,23 \cdot P_{\text{н}} = 1,23 \cdot U_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}} = 1,23 \cdot 40 \cdot 0,4 = 19,68 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{Тном}} = 20 \text{ Вт} \geq P_{\text{расч}} = 19,68 \text{ Вт}$$

и коэффициент трансформации, который, с одной стороны, определяется как

$$n = U_1 / U_2 = 220 / 44,4 = 4,95,$$

а, с другой стороны, как

$$n \approx \sqrt{\frac{L1}{L2}},$$

					03.49.029.25- ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

где $L1$ принимается равным 1 Гн. Тогда $L2$ будет определяться как

$$L2 = \frac{L1}{n^2} = \frac{1}{4,95^2} = 0,04 \text{ Гн.}$$

Коэффициент сцепления k , который необходимо указывать в параметрах выбранного трансформатора, будет лежать в пределах $(0 \dots 1)$, выбираем 0,98.

При выборе трансформатора в *MICROCAP* при создании схемы в графе «Величина» указываются значения $L1$, $L2$, k .

9 Создаем принципиальную электрическую схему с помощью программы *MICROCAP* в соответствии с Приложением Б и расчетными параметрами элементов; если выбранный зарубежный аналог отсутствует в списке диодов программы *MICROCAP*, то следует выбрать ближайший по маркировке. В данном примере это *1N3016*.

10 Получаем временные диаграммы для входного $U_{\text{вх}} = f(t)$ и выходного напряжений $U_{\text{вых}} = f(t)$ (приложение Б) схемы однофазного мостового выпрямителя без фильтра, которые показаны на рисунке 2.1.

11 Рассчитываем параметры сглаживающего П-образного $C_{\phi 1} L_{\phi} C_{\phi 2}$ фильтра.

Коэффициент пульсаций однофазного мостового выпрямителя без фильтра p_1 (таблица 4) равен

$$p_1 = 0,67.$$

Коэффициент пульсаций однофазного мостового выпрямителя с фильтром p_2 :

$$p_2 = 0,005.$$

Коэффициент сглаживания фильтра q :

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$q = p_1/p_2 = 0,67/0,005 = 134.$$

П-образный фильтр состоит из простого C -фильтра и Γ -образного LC -фильтра, коэффициент сглаживания которого определяется

$$q = q_C \cdot q_{LC}.$$

Принимаем емкость конденсаторов в составных фильтрах $C_{\phi 1} = C_{\phi 2} = 20$ мкФ.

Тогда

$$q_C = 2\pi \cdot f \cdot m \cdot C_{\phi 1} \cdot R_H = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 1,2,$$

где m – число пульсаций выпрямленного напряжения за период (таблица 4).

Тогда коэффициент сглаживания LC -фильтра

$$q_{LC} = \frac{q}{q_C} = \frac{134}{1,2} = 112.$$

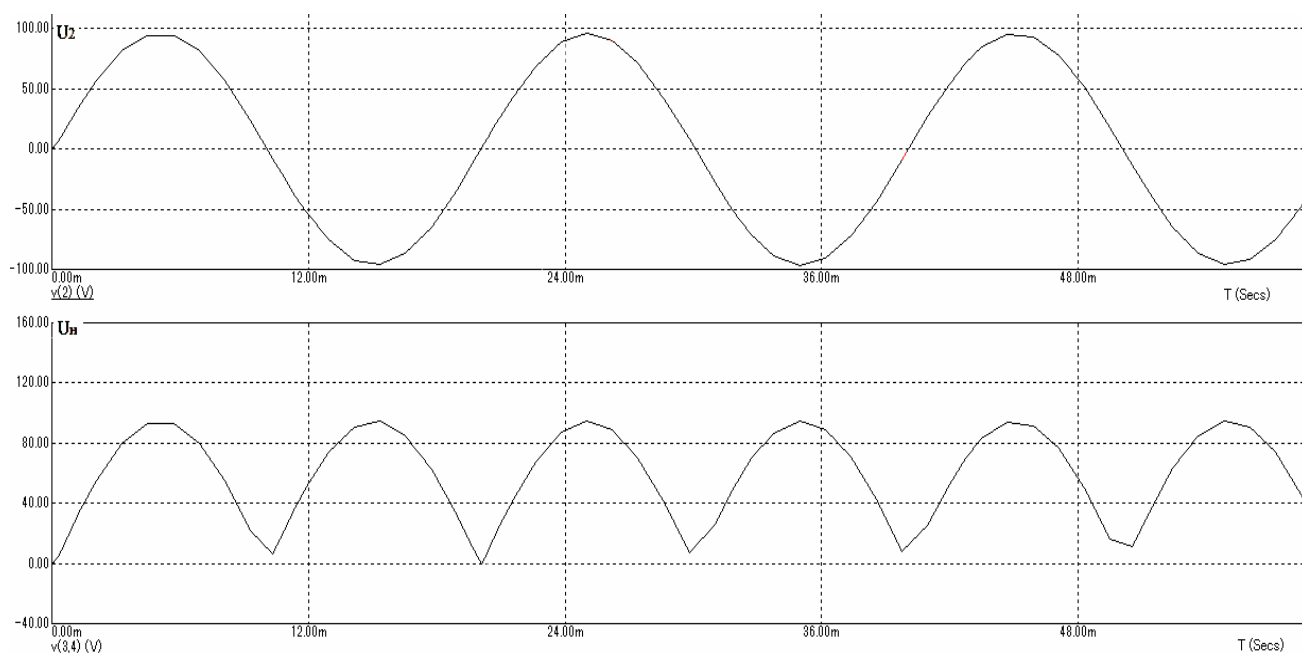


Рисунок 2.1 – Временные диаграммы для входного (U_2) и выходного напряжений (U_H) мостового выпрямителя без фильтра

Для LC -фильтра

$$L_{\phi} C_{\phi 2} = \frac{q_{LC}}{(2\pi \cdot f \cdot m)^2} = \frac{112}{(6,28 \cdot 50 \cdot 2)^2} = 280 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{Ф}.$$

При $C_{\phi 2} = 20 \text{ мкФ}$

$$L_{\phi} = \frac{L_{\phi} \cdot C_{\phi 2}}{C_{\phi 2}} = \frac{280 \cdot 10^{-6}}{20 \cdot 10^{-6}} = 14 \text{ Гн}.$$

12 Получаем временные диаграммы для выходного напряжения схемы однофазного мостового выпрямителя с П-образным $C_{\phi 1} L_{\phi} C_{\phi 2}$ -фильтром (рисунок 2.2).

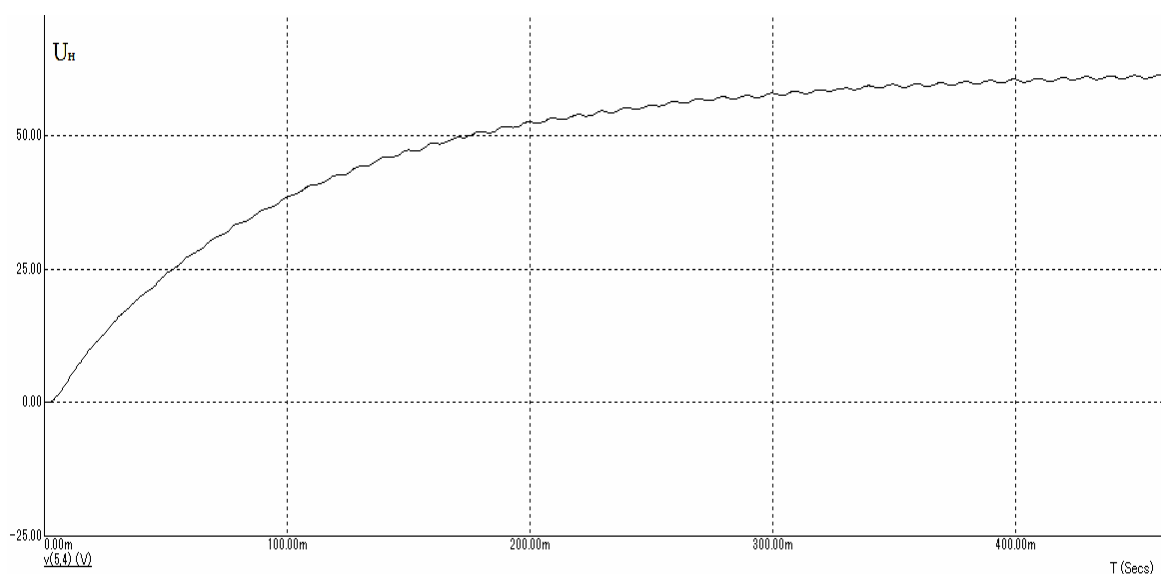


Рисунок 2.2 – Временная диаграмма для выходного напряжения (U_n) мостового выпрямителя с CLC -фильтром

13 Принципиальная электрическая схема однофазного мостового выпрямителя с П-образным $C_{\phi 1} L_{\phi} C_{\phi 2}$ -фильтром приведена на листе 2 графической части формата А4.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.2 Расчет компенсационного стабилизатора напряжения

Исходные данные:

- выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 27 \text{ В}$;
- предельное отклонение $\Delta U_{\text{ВЫХ}} = \pm 2 \text{ В}$;
- ток нагрузки $I_{\text{Н}} = 0,2 \text{ А}$;
- допустимые относительные изменения входного напряжения

$$\frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \pm 10\%;$$

- коэффициент стабилизации $K_{\text{СТ}} = 150$.

1 Выбираем тип регулирующего транзистора $VT1$ и его режима:

$$U_{\text{ВХmin}} = U_{\text{ВЫХ}} + \Delta U_{\text{ВЫХ}} + |U_{\text{КЭ1min}}| = 27 + 2 + 3 = 32 \text{ В},$$

где $|U_{\text{КЭ1min}}|$ – минимальное напряжение между коллектором и эмиттером транзистора $VT1$, при котором его работа не заходит в область насыщения.

Для мощных транзисторов, которые используются в качестве регулирующего элемента. При расчете принимают $|U_{\text{КЭ1min}}| = 3 \text{ В}$.

Так как допустимые относительные изменения входного напряжения (по заданию) $\Delta U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ВХ}} = 10\%$, то номинальное значение входного напряжения

$$U_{\text{ВХ}} = 1,1 \cdot 32 = 35,2 \text{ В},$$

а максимальное значение входного напряжения

$$U_{\text{ВХmax}} = 1,1 \cdot 35,2 = 38,7 \text{ В}.$$

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Находим $U_{KЭ1\max}$ и максимальную мощность, рассеиваемую на регулирующем транзисторе $P_{K\max}$:

$$|U_{KЭ1\max}| = U_{ВХ\max} - U_{ВЫХ\min} = 38,7 - 25 = 13,7 \text{ В},$$

$$\text{т. к. } U_{ВЫХ\min} = U_{ВЫХ} - \Delta U_{ВЫХ}.$$

$$P_{K\max} = |U_{KЭ1\max}| \cdot I_H = 13,7 \cdot 0,2 \approx 2,7 \text{ Вт}.$$

Выбираем по справочнику [9,10, 18–20] транзистор *КТ8426*, для которого

$$P_{K\max} = 3 \text{ Вт} \geq 2,7 \text{ Вт};$$

$$|U_{KЭ1\max}| = 200 \text{ В} \geq 13,7 \text{ В};$$

$$I_{K\max} = 5 \text{ А};$$

$$h_{21Э} \geq 15.$$

2 Выбор типа согласующего транзистора *VT2* и его режима.

Коллекторный ток транзистора *VT2*:

$$I_{K2} \approx I_{Э2} = I_{Б1} + I_{R4} = \frac{I_{K1}}{h_{21Э}} + I_{R4} = \frac{I_H}{h_{21Э}} + I_{R4},$$

$$\text{т. к. } I_B = \frac{I_K}{h_{21}}, \text{ и } I_{K1} = I_H,$$

где I_{R4} – дополнительный ток, протекающий через резистор R_4 . Для маломощных транзисторов, используемых в качестве согласующего элемента, дополнительный ток выбирают в пределах 1–2 мА.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Приняв $I_{R4} = 1,5 \text{ мА}$, получим: $I_{K2} = \frac{0,2 \cdot 10^3}{30} + 1,5 = 8,2 \text{ мА}$.

Определяем максимальные значения напряжения $U_{KЭ2\text{max}}$ и мощности P_{K2} согласующего транзистора VT2:

$$|U_{KЭ2\text{max}}| \approx |U_{KЭ1\text{max}}| = 13,7 \text{ В}.$$

$$P_K = I_{K2} \cdot |U_{KЭ2\text{max}}| = 8,2 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 \approx 112 \text{ мВт}.$$

Выбираем по справочнику транзистор типа *KT201Б* со следующими параметрами:

$$I_{K\text{max}} = 20 \text{ мА} > 8,2 \text{ мА};$$

$$|U_{KЭ2\text{max}}| = 20 \text{ В} > 13,7 \text{ В};$$

$$P_K = 150 \text{ мВт} > 112 \text{ мВт};$$

$$h_{21Э} = 30 \dots 90.$$

3 Рассчитываем сопротивление резистора R4:

$$R4 = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{I_{R4}} = \frac{27}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 18 \text{ кОм}.$$

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 Выбор усилительного транзистора $VT3$ и его режима.

В качестве усилительного транзистора используют маломощные транзисторы. Обычно из технологических соображений транзисторы $VT2$, $VT3$ выбирают одного типа. Выбираем $KT201B$.

Задаемся напряжением $|U_{KЭ3}| = 14 \text{ В} \leq |U_{KЭ\max}| = 20 \text{ В}$.

Определяем опорное напряжение:

$$U_{\text{оп}} = U_{\text{вых}} - |U_{KЭ3}| = 27 - 14 = 13 \text{ В}.$$

Для получения такого опорного напряжения используем стабилитрон (по справочнику) типа Д813, у которого $U_{\text{ст}} = 11,5 \div 14 \text{ В}$, $I_{\text{ст}} = 5 \text{ мА}$.

5 Определим значение ограничивающего сопротивления $R5$:

$$R5 = \frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}}{I_{\text{ст}} - I_{Э3}} = \frac{27 - 13}{(5 - 1) \cdot 10^{-3}} = 3,5 \text{ кОм},$$

$I_{Э3} \approx I_{K3}$, а I_{K3} выбирают в пределах $1 \dots 1,5 \text{ мА}$.

Из уравнения Кирхгофа $U_{ЭБ1} + U_{ЭБ2} + U_{R3} - |U_{KЭ1}| = 0$.

С учетом того, что $U_{ЭБ1}, U_{ЭБ2} \approx 0$, получаем $U_{R3} \approx |U_{KЭ1}|$. Тогда в соответствии с принципиальной электрической схемой (рисунок 3) можем найти сопротивление $R3$:

$$R3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}} \approx \frac{|U_{KЭ1}|}{I_{K3} + I_{Б2}} = \frac{13,7}{1 + 0,27} \approx 10,8 \text{ кОм},$$

где $I_{K3} \approx I_{Э3} = 1 \text{ мА}$, т. к. I_{K3} выбирают в пределах $1 \dots 1,5 \text{ мА}$,

а $I_{Б2} = \frac{I_{K2}}{h_{21Э}} = \frac{8,2}{30} = 0,27 \text{ мА}$.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6 Расчет делителей напряжения.

По схеме (рисунок 3) видно, что $U_{оп} \approx (R8 + 0,5R7) \cdot I_{дел}$, где $I_{дел}$ – ток, протекающий через делитель $R6, R7, R8$.

$$\text{Получаем } R7 = \frac{U_{оп} - I_{дел} \cdot R8}{0,5I_{дел}}.$$

Выбираем $I_{дел}$ из условия: $I_{дел} > (5 \div 10) I_{БЗ}$.

Примем $I_{дел} = 20$ мА.

$$\text{Примем } I_{дел} = 20 \cdot I_{БЗ} = \frac{20I_{КЗ}}{h_{21Э}} = \frac{20 \cdot 1}{30} = 0,66 \text{ мА}.$$

Зададимся значением $R8 = 1,5 \text{ кОм}$, тогда

$$R7 = \frac{13 - 0,66 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 0,66 \cdot 10^{-3}} = \frac{12}{0,33 \cdot 10^{-3}} = 36 \text{ кОм}.$$

По схеме (рисунок 3) для контура $R6, 0,5R7$ и R_n можно записать выражение $I_{дел} (R6 + 0,5R7) \approx U_{вых} - U_{оп}$, откуда находим:

$$\begin{aligned} R6 &= \frac{U_{вых} - U_{оп} - 0,5 \cdot I_{дел} \cdot R7}{I_{дел}} = \frac{27 - 13 - 0,5 \cdot 0,66 \cdot 10^{-3} \cdot 36 \cdot 10^3}{0,66 \cdot 10^{-3}} = \\ &= \frac{11,88}{0,66 \cdot 10^{-3}} = 3,2 \text{ кОм}. \end{aligned}$$

7 Выбор конденсаторов:

- емкость конденсатора $C1$, включаемого для предотвращения возбуждения стабилизатора, подбирают экспериментально, $C1 \leq 0,5 \dots 1 \text{ мкФ}$;

- емкость конденсатора $C2$, включение которого приводит к незначительному уменьшению пульсаций выходного напряжения и уменьшению выходного сопротивления стабилизатора переменному току, выбирают в пределах $1000 \dots 2000 \text{ мкФ}$.

Выбираем $C1 = 0,5 \text{ мкФ}$, $C2 = 1000 \text{ мкФ}$.

8 Определяем коэффициент стабилизации напряжения:

$$K_{ст} = K_{дел} \cdot K_3 \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 0,48 \cdot 540 \frac{27}{35,2} = 198, \text{ где}$$

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$K_{\text{дел}} = \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\text{вых}}} = \frac{13}{27} = 0,48 \quad - \text{ коэффициент деления напряжения делителя}$$

$R6, R7, R8;$

$$K_3 = \left(\frac{h_{21Э3}}{h_{11Э3}} \right) \cdot R3 = \left(\frac{30}{600} \right) \cdot 10,8 \cdot 10^3 = 540,$$

где $h_{11Э}$ – входное сопротивление транзистора $VT3$ (справочные данные).

Если значение $K_{\text{ст}}$ окажется недостаточным, то следует выбрать из предлагаемого диапазона большее значение $h_{21Э}$, либо транзисторы $VT2$ и $VT3$ с большим коэффициентом усиления тока $h_{21Э}$, если значения из диапазона не удовлетворяют требованиям.

9 Спроектированная принципиальная электрическая схема компенсационного стабилизатора напряжения приведена на листе 3 графической части.

					03.49.029.16 - ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Проектирование логической схемы управления

3.1 Проектирование логической схемы управления по заданной логической функции на элементах И-НЕ

Исходные данные:

$X_1=5; 6 - (0101; 0110);$

$X_2=0; 4 - (0000; 0100);$

$X_3=5; 6 - (0101; 0110);$

$Y_1=1; 2 - (0001; 0010);$

$Y_2=3; 4 - (0011; 0100).$

Логическую схему управления необходимо реализовать на логических элементах И-НЕ.

1 Переводим десятичные значения входных и выходных сигналов в двоичные и записываем их в таблицу 3.1:

Таблица 3.1 – Представление входных и выходных сигналов в двоичной форме

X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2
0	0	0	0	0
1	0	1	0	0
0	0	0	0	1
1	0	1	1	1
0	0	0	0	0
1	1	1	0	1
1	0	1	1	0
0	0	0	0	0

2 Определим, для какой комбинации входных сигналов выходной сигнал равен 1 (соответственно для выхода Y_1 и выхода Y_2), для нашего примера эти сигналы выделены жирным шрифтом.

3 Составляем таблицу истинности (таблицы 3.2 и 3.3) для каждого выхода:

— для выхода Y_1 :

Таблица 3.2 – Таблица истинности для выхода $Y1$

$X1$	$X2$	$X3$	$Y1$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

– для выхода $Y2$:

Таблица 3.3 – Таблица истинности для выхода $Y2$

$X1$	$X2$	$X3$	$Y2$
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

4 Для данных таблиц истинности дизъюнктивная форма оператора имеет вид:

$$Y1 = X1 \cdot \overline{X2} \cdot X3$$

$$Y2 = \overline{X1} \cdot \overline{X2} \cdot \overline{X3} + X1 \cdot \overline{X2} \cdot X3 + X1 \cdot X2 \cdot X3,$$

при этом $X = 1, \overline{X} = 0$, т. е. переменные входят в произведение в прямом виде, если их значения в строке при $Y = 1$ тоже равны 1, и в инверсном виде, если их значения равны 0.

3.2 Минимизация логической функции с помощью карт Карно

1 Производим минимизацию (упрощение формы записи) функций с использованием карты Карно. Минимизируется только функция Y_2 , т. к. Y_1 и так имеет простейшую форму.

Для нашего примера получаем (рисунок 3.1):

		X1 X2			
		00	01	11	10
X3	0	1			
	1			1	1

Рисунок 3.1 – Карта Карно для трех переменных

Выходные сигналы, равные единице, проставляем на пересечении комбинаций сигналов X_1 , X_2 , X_3 .

Тогда можем записать упрощенное значение Y_2 :

$$Y_2 = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} + X_1 \cdot X_3(X_2 + \overline{X_2}) = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} + X_1 \cdot X_3.$$

2 Построим логическую схему управления только на элементах 2И-НЕ и 3И-НЕ. Для этого произведем двукратное инвертирование, воспользовавшись теоремой де Моргана:

$$Y_1 = \overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot X_3};$$

$$Y_2 = \overline{\overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3}} + \overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3}} \cdot \overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3}}} = \overline{\overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3} \cdot X_1 \cdot X_3}.$$

3 Структурная схема будет содержать два элемента 3И-НЕ и шесть элементов 2И-НЕ.

4 Логическая схема управления приведена на листе 4 графической части.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Заключение

В данной работе произведен расчет параметров усилителя на биполярном транзисторе в схеме включения с общим эмиттером при максимальном использовании параметров транзистора и проведена проверка этих параметров с помощью компьютерного моделирования усилителя в пакете схематического моделирования *MICROCAP*.

Чтобы усилитель нормально работал в заданном режиме, нужно обеспечить постоянный ток коллектора и постоянное напряжение на нем. Вследствие зависимости от температуры и других факторов, параметры усилительного элемента могут меняться, поэтому необходима стабилизация рабочей точки. Стабилизировать рабочую точку можно введением отрицательной обратной связи, которая создается резистором $R_э$. Введение ООС позволяет уменьшить нестабильность коэффициента усиления во столько же раз, во сколько снижается само усиление. Кроме того, во столько же раз уменьшаются нелинейные искажения сигнала и расширяется полоса пропускания усилителя.

Таким образом, удалось как можно более подробно изучить не только теоретически, но и увидеть экспериментально работу усилителя на биполярном транзисторе в схеме с ОЭ.

В ходе проведения данной работы были закреплены навыки в области расчета и проектирования усилительных каскадов на биполярных транзисторах.

Построены диаграммы для входного и выходного напряжений. Получена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазочастотная характеристика (ФЧХ).

Спроектирован и рассчитан однофазный мостовой выпрямитель, для которого по справочнику выбран диод для однофазного мостового выпрямителя, работающего на нагрузку с сопротивлением R_n и постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_n .

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Определены ток и напряжение вторичной обмотки трансформатора и мощность трансформатора. Произведены расчет и выбор сглаживающего фильтра (*CLC*) для данной схемы.

Также была смоделирована и исследована рассчитанная схема на компьютере, получены временные диаграммы, с помощью программы *MICROCAP* (зависимость $U_{\text{вх}}$ от времени t ; и зависимость $U_{\text{вых}}$ от времени t).

При выполнении курсовой работы был рассчитан компенсационный стабилизатор напряжения последовательного типа, для которого были выбраны типы используемых транзисторов, произведены расчеты параметров элементов схемы для обеспечения заданного коэффициента стабилизации, а также спроектирована принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения.

При выполнении третьего раздела курсовой работы были проведены расчеты в соответствии с основными положениями алгебры логики, получены уравнения логических функций. При помощи теоремы де Моргана уравнения были преобразованы так, чтобы при построении логической схемы управления использовать только логические элементы И-НЕ. Спроектирована по заданной логической функции схема управления, которая была построена в программе *MICROCAP*.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Список использованных источников

1. Матвееенко, И. П. Электроника : пособие / И. П. Матвееенко. – Минск : БГАТУ, 2020. – 288 с.
2. Миловзоров, О. В. Электроника : учебник для прикладного бакалавриата / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. – 6-е изд., пер. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – 344 с.
3. Миленина С. А. Электротехника, электроника и схемотехника : учебник и практикум для академического бакалавриата / С. А. Миленина; Н. К. Миленин; Н. К. Миленина. – 2-е изд., пер. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – 434 с.
4. Кузовкин В. А. Электротехника и электроника : учебник для СПО / В. А. Кузовкин; В. В. Филатов. – М. : Юрайт, 2019. – 431 с.
5. Бобровников, Л. З. Электроника : учебник для академического бакалавриата : в 2 ч. / Л. З. Бобровников. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – Ч. 1. – 288 с.
6. Бобровников, Л. З. Электроника : учебник для академического бакалавриата : в 2 ч. / Л. З. Бобровников. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2022. – Ч. 2. – 276 с.
7. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники: учебник для вузов / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. – 11-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2021. – 736 с.
8. Матвееенко, И. П. Электроника : лабораторный практикум / И. П. Матвееенко, Т. А. Костикова. – Минск : БГАТУ, 2021. – 168 с.
9. Галкин, В. И. Полупроводниковые приборы. Транзисторы широкого применения : справочник / В. И. Галкин, А. Л. Булычев. – Минск : Беларусь, 1995. – 383 с.
10. Галкин, В. И. Полупроводниковые приборы : справочник / В. И. Галкин. – Минск : Беларусь, 1987. – 321 с.
11. Разевиг, В. Д. Система схемотехнического проектирования Micro-CAP V/ В.Д. Разевиг. – М. : СОЛОН, 1997. – 273 с.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

12. Общие требования к организации и оформлению дипломных и курсовых проектов (работ) / В. В. Гурин [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2014 – 139 с.

Технические нормативные правовые акты

13. ГОСТ 2.702–2011. Правила выполнения электрических схем : ЕСКД. – Взамен ГОСТ 2.702–75 ; введ. 2013-11-01. – Минск : Госстандарт, 2013. – 28 с.

14. ГОСТ 2.710–81 (СТ СЭВ 2182–80). Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах : ЕСКД. – Взамен ГОСТ 2.710–75 ; введ. 1981-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 14 с.

15. ГОСТ 2.743–91. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники : ЕСКД. – Взамен ГОСТ 2.743–82 ; введ. 1993-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 45 с.

16. ГОСТ 2.759–82. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники : ЕСКД. – Введ. 1983-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1982. – 14 с.

17. ГОСТ 19.701–90 (ИСО 5807-85). ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. – Взамен ГОСТ 19.003–80 ; введ. 1992-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 26 с.

Интернет ресурсы

18. Москатов, Е. А. Справочник по полупроводниковым приборам. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://nice.artip.ru/ea-moskatov-spravochnik-popoluprovodnikovym-priboram> - Дата доступа: 26.08.2025.

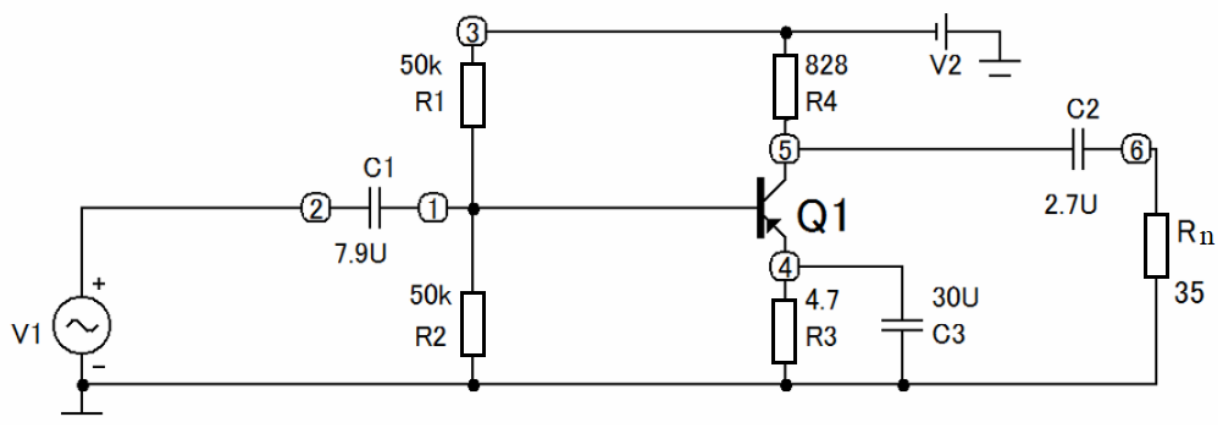
19. Козак, В. Р. Справочники по полупроводниковым приборам. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.inp.nsk.su/~kozak/hbks.htm>. - Дата доступа: 26.08.2025.

20. Зайцев, А. А. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности: Справочник /А. А. Зайцев; А. И. Миркин; В. В. Мокряков [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://archive.org/details/B-001-014-433>. - Дата доступа: 26.08.2025.

					03.49.029.25 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А



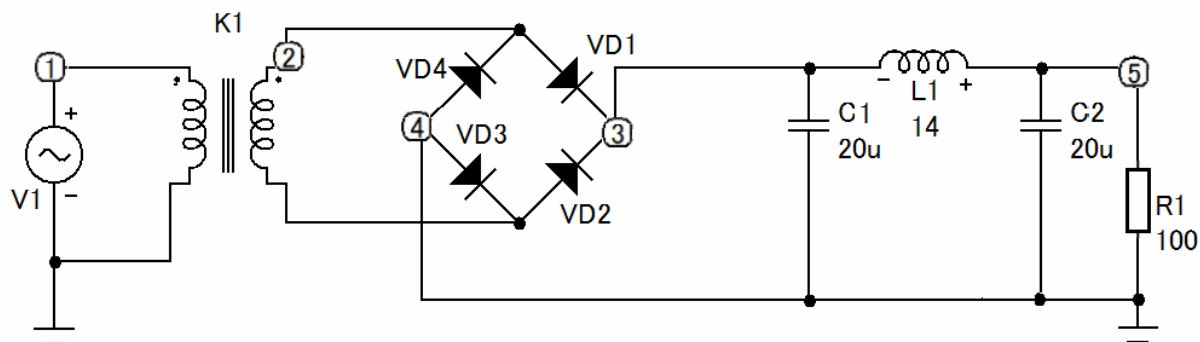
Перечень элементов принципиальной электрической схемы

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Прим.
Конденсаторы			
C1	K7.5 мкФ	1	
C2	K2.5 мкФ	1	
C3	K47 мкФ	1	
Резисторы			
R1, R2	МЛТ-50kОм ± 5 %	2	
R3	МЛТ-4.7Ом ± 5 %	1	
R4	СП1-560Ом ± 5 %	1	
R5	МЛТ-36Ом ± 5 %	1	
Транзисторы			
VT (Q1)	2N4402	1	
V1	Источник переменного сигнала 220 В	1	
V2	Источник постоянного напряжения 10 В	1	

03.49.029.25 - АТХ

Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты, мостового выпрямителя с CLC-фильтром и стабилизатора напряжения, проектирование логической схемы управления

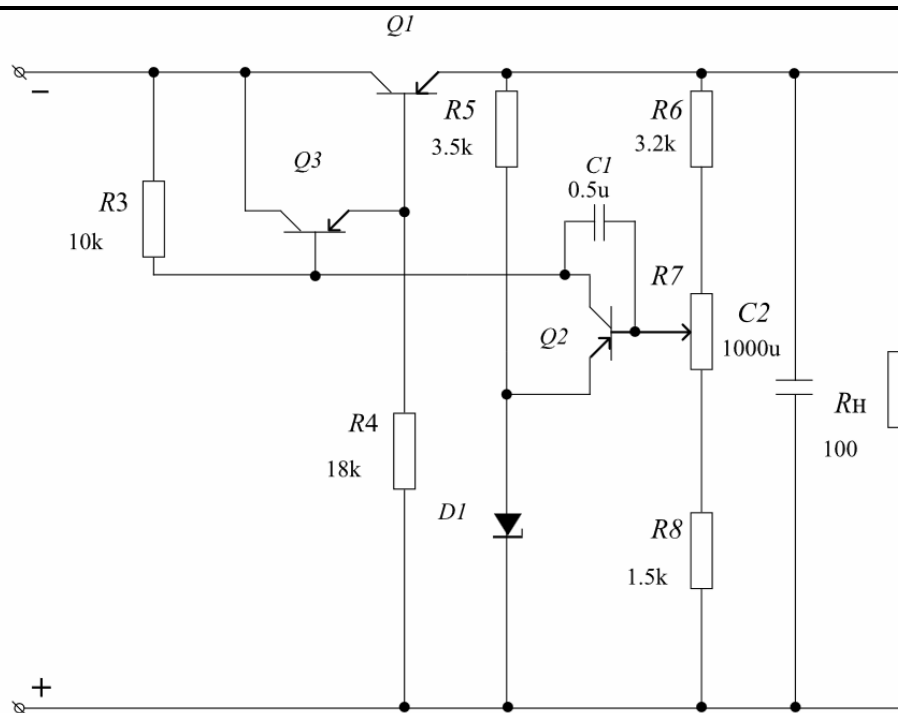
Изм	Кол.	Лист	№ док	Подпись	Дата				
Разраб.		Петров				Усилитель НЧ	Стад	Лист	Листов
Пров.		Матвеевко					У		
						Принципиальная электрическая схема НЧ усилителя	БГАТУ 1326029		
Н.контр									
Утв.									



Перечень элементов принципиальной электрической схемы

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Прим.
Конденсаторы			
C1, C2	К 20мкФ	2	
Катушка индуктивности			
L1	146 К	1	
Резисторы			
R1	МЛТ - 100 Ом +-5 %	1	
Диоды			
VD1...VD4	D74	4	
V1	Источник переменного сигнала 220 В	1	
K1	Трансформатор 20 кВА	1	

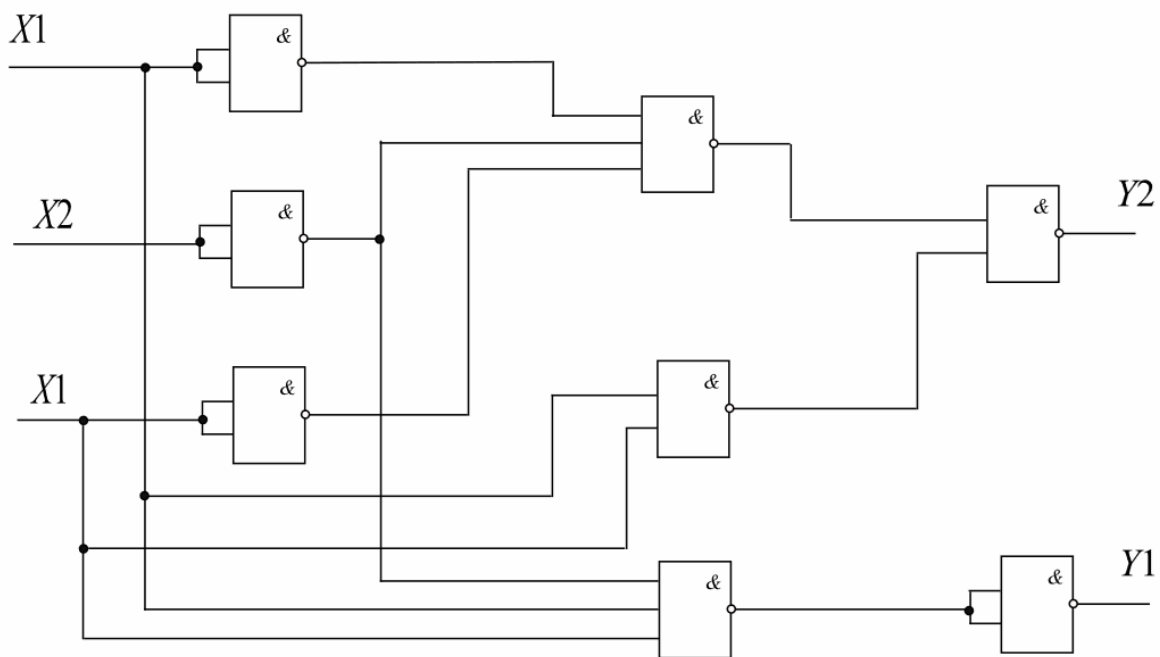
						03.49.029.25 - АТХ		
						Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты, мостового выпрямителя с CLC-фильтром и стабилизатора напряжения, проектирование		
Изм	Кол.	Лист	№док	Подпись	Дата			
Разраб.	Петров					Однофазный мостовой выпрямитель	Станд	Лист
Пров.	Матвеев						У	Листов
						Принципиальная электрическая схема мостового выпрямителя с CLC-фильтром		
Н.контр								
Утв.						БГАТУ 1326029		



Перечень элементов принципиальной электрической схемы

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Прим.
Конденсаторы			
C1	K0.5 мкФ	1	
C2	K1000 мкФ	1	
Стабилитрон			
D1	Д813(1N456)	1	
Резисторы			
Rn	МЛТ-100 Ом± 5 %	1	
R3	МЛТ-10 kОм ± 5 %	1	
R4	МЛТ -18 kОм ± 5 %	1	
R5	МЛТ-3,6 kОм ± 5 %	1	
R6	МЛТ-3,3 kОм ± 5 %	1	
R7	МЛТ-36 kОм ± 5 %	1	
R8	МЛТ-1,5 kОм ± 5 %	1	
Транзисторы			
VT1(Q1)	КТ3108А (зарубежный аналог 2N3250)	1	
VT2(Q2), VT3(Q3)	КТ 201Б	2	

						03.49.029.25 - АТХ		
						Расчет и моделирование схемы электронного усилителя		
						низкой частоты, мостового выпрямителя с CLC-фильтром		
						и стабилизатора напряжения. проектирование		
Изм	Кол.	Лист	№ док	Подпись	Дата	Компенсационный стабилизатор напряжения	Стад	Лист
Разраб.		Петров					У	Листов
Пров.		Матвеев						
Н.контр						Принципиальная электрическая схема стабилизатора напряжения	БГАТУ 1326029	
УТВ.								



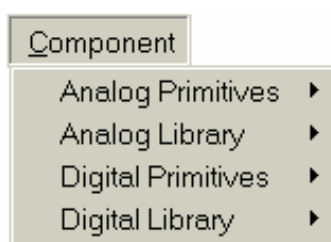
Перечень элементов

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Прим.
2И-НЕ	K155ЛА3	6	
3И-НЕ	K155ЛА4	2	

						03.49.029.25 - АТХ		
						Расчет и моделирование схемы электронного усилителя низкой частоты, мостового выпрямителя с CLC-фильтром и стабилизатора напряжения, проектирование		
Изм	Кол.	Лист	№ док	Подпись	Дата	Устройство управления	Стад	Лист
Разраб.	Петров						У	Листов
Пров.	Матвеев					Схема управления		
Н.контр							БГАТУ	
УТВ.							1326029	

Основные правила работы с программой *MICROCAP*1. Содержание Меню программы *MICROCAP*:

2. При построении схемы использовать кнопку Меню

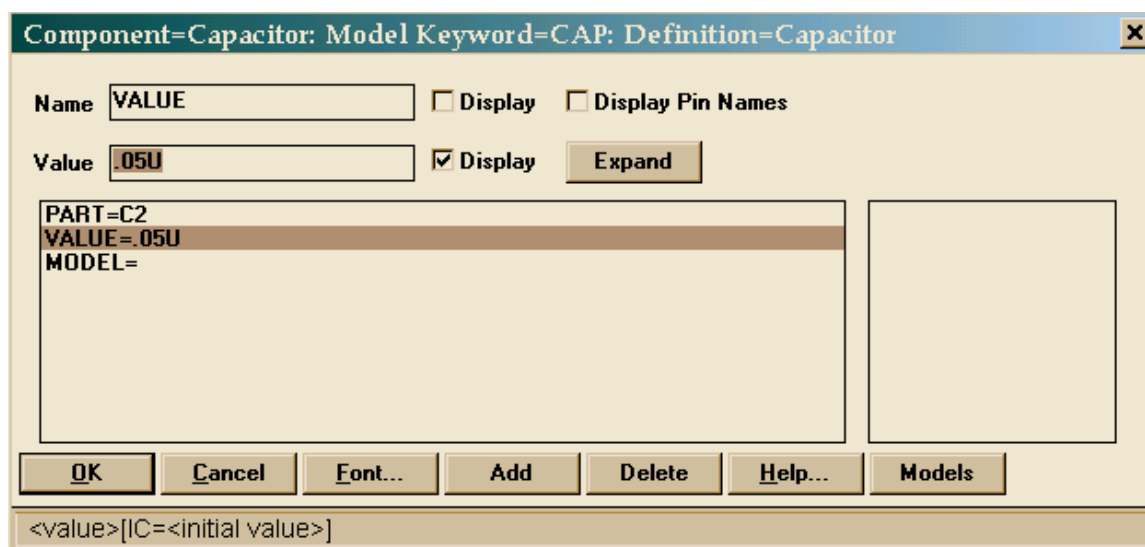


2.1. Для выбора резисторов и конденсаторов:



2.1.1. Установить требуемое номинальное значение R или C.

- двойной щелчок по элементу;



- изменение значения в строке Value. При этом буква μ означает микро (10^{-6}), k означает кило (10^3), m означает милли (10^{-3});
- изменение обозначения элемента в строке Part.

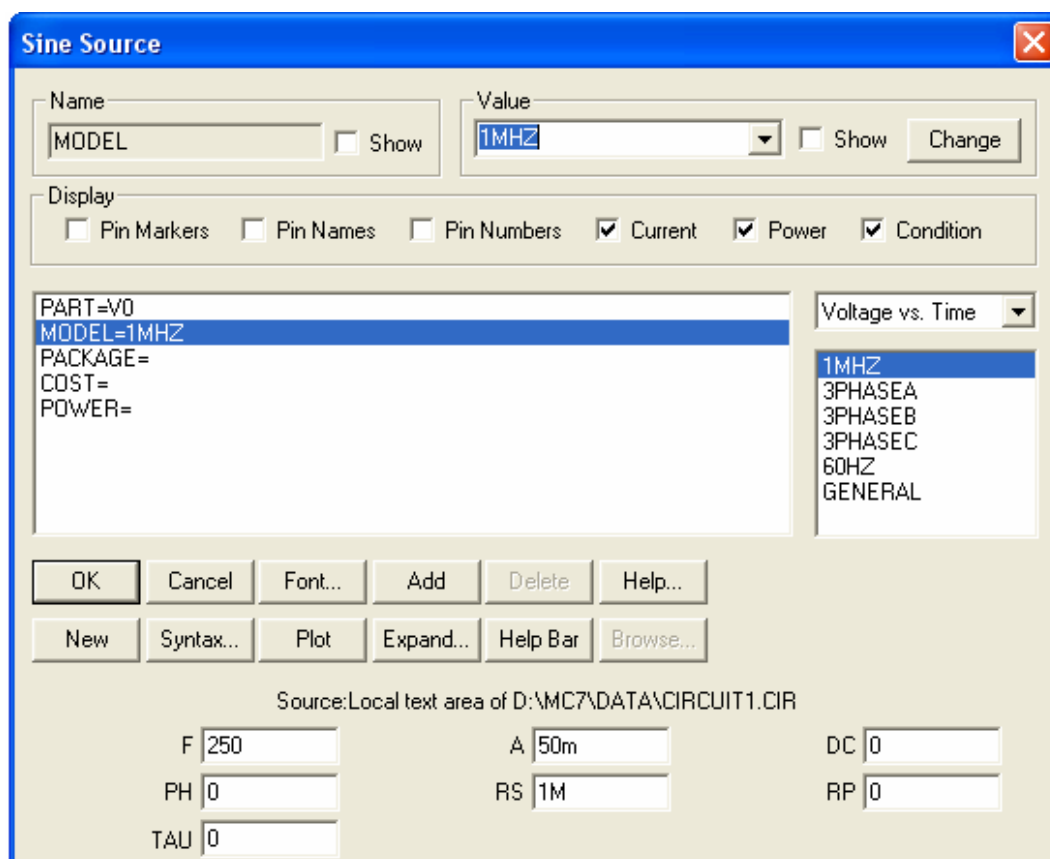
2.2. Для выбора источников напряжения:



- для источника постоянного напряжения выбрать Battery;
- для источника переменного напряжения выбрать Sine source.

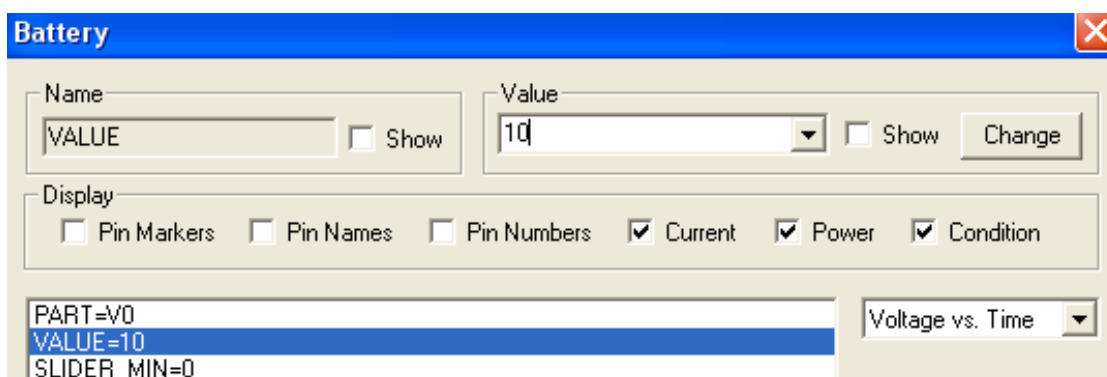
2.2.1. Установить требуемое максимальное значение напряжения источника:

- двойной щелчок по источнику напряжения:
- для источника переменного напряжения имеем:



- в списке предлагаемых моделей выбрать первую;
- в графе F поставить заданное значение f_n , а в графе A амплитудное значение входного напряжения.

- для источника постоянного напряжения имеем:

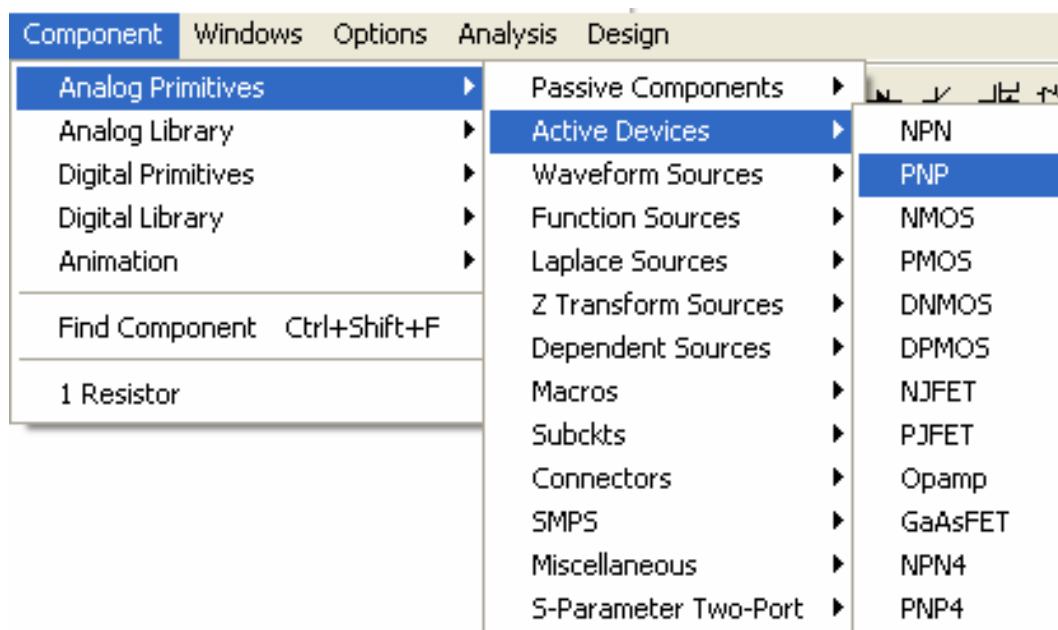


- в строке Value установить значение напряжения источника.

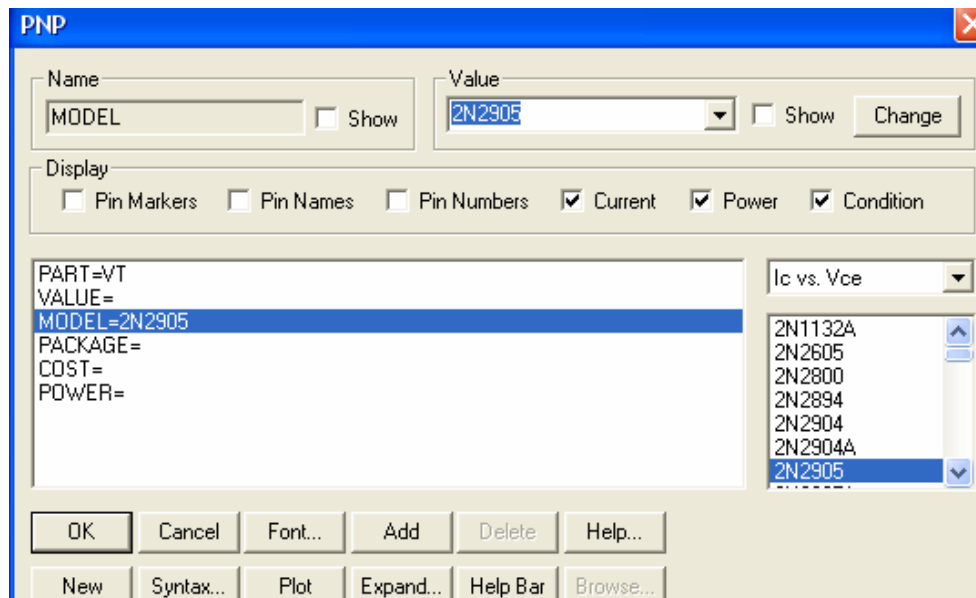
2.3. Для заземления



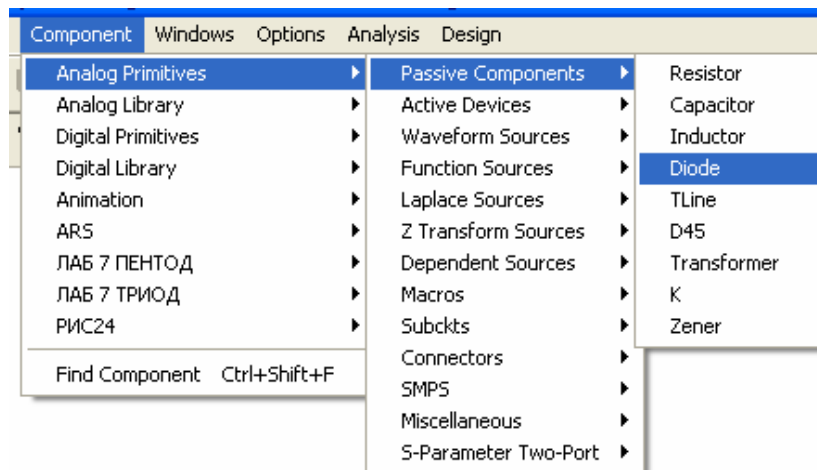
2.4. Для выбора транзистора:



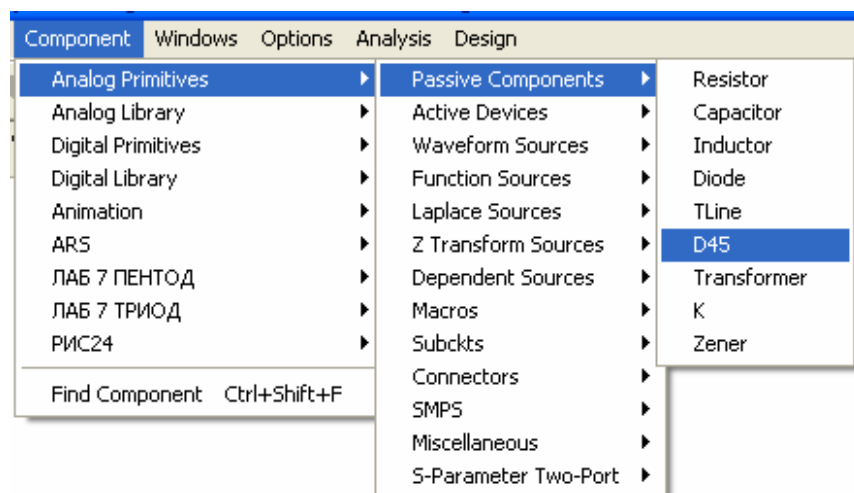
- двойной щелчок по транзистору;
- установить модель транзистора в соответствии с исходным зарубежным аналогом;
- в графе Part набрать обозначение транзистора VT.



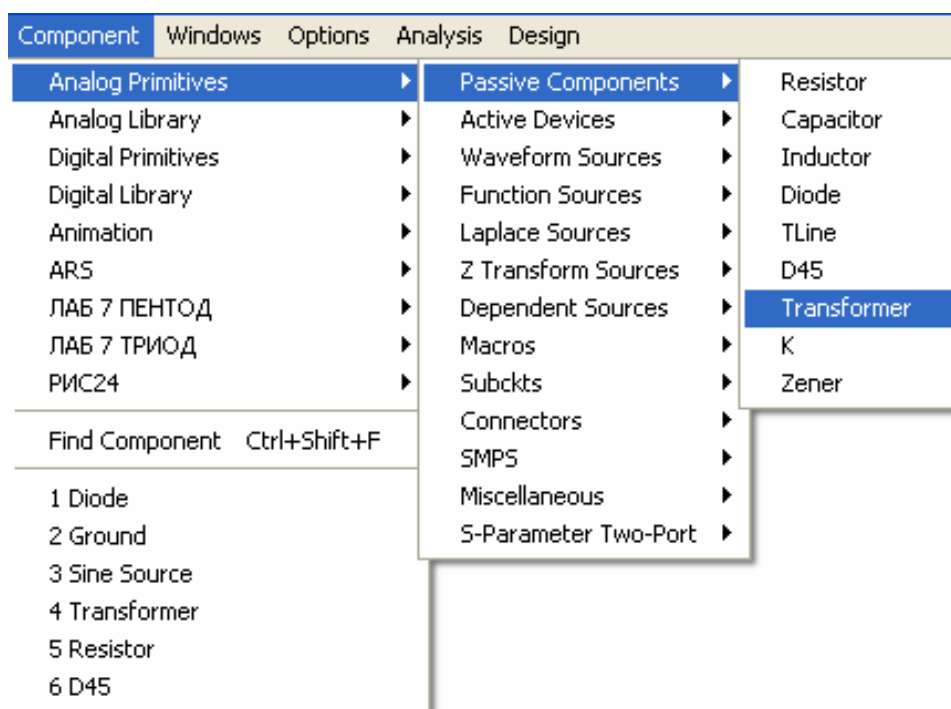
2.5. Для выбора диодов



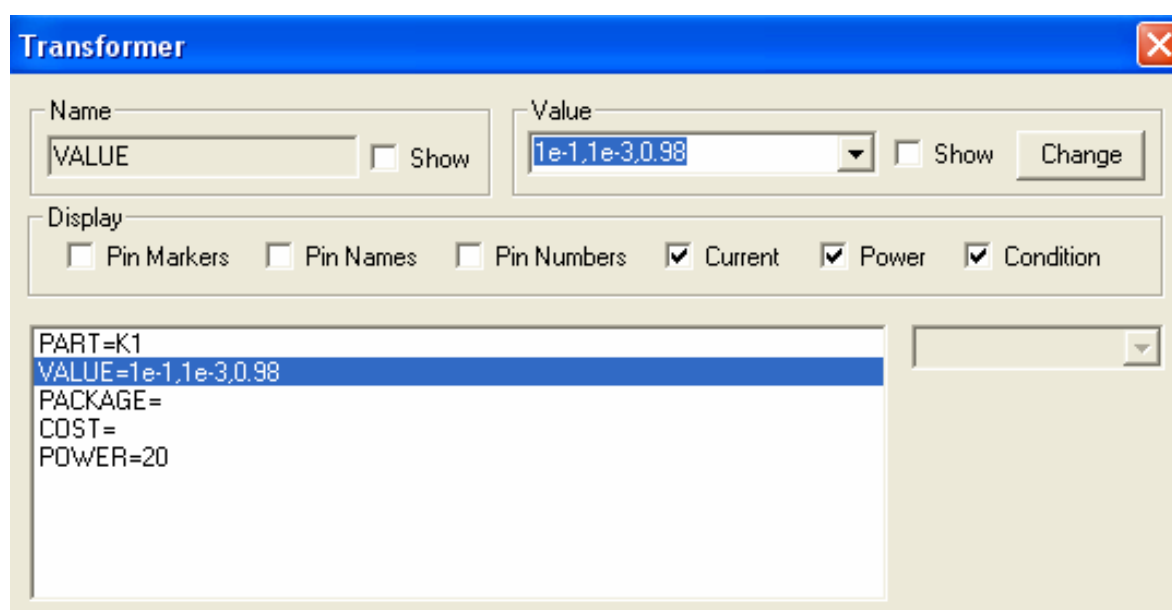
ИЛИ



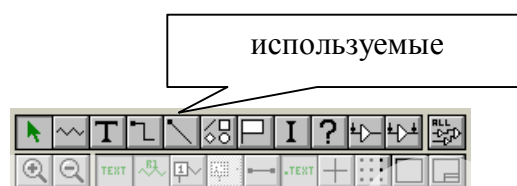
2.6. Для выбора трансформатора:



При установке трансформатора задать его обозначение в графе PART=K1 и параметры в графе Value: например, 1e-1, 1e-3, 0.98, где 1e-1-значение индуктивности первичной обмотки (0.1 Гн), 1e-3- значение индуктивности вторичной обмотки (0.001 Гн), 0.98-связывающий коэффициент. В графе POWER указываем значение мощности трансформатора, в данном примере POWER=20. При определении этих параметров использовать коэффициент трансформации n .



2.7. Для соединения элементов:

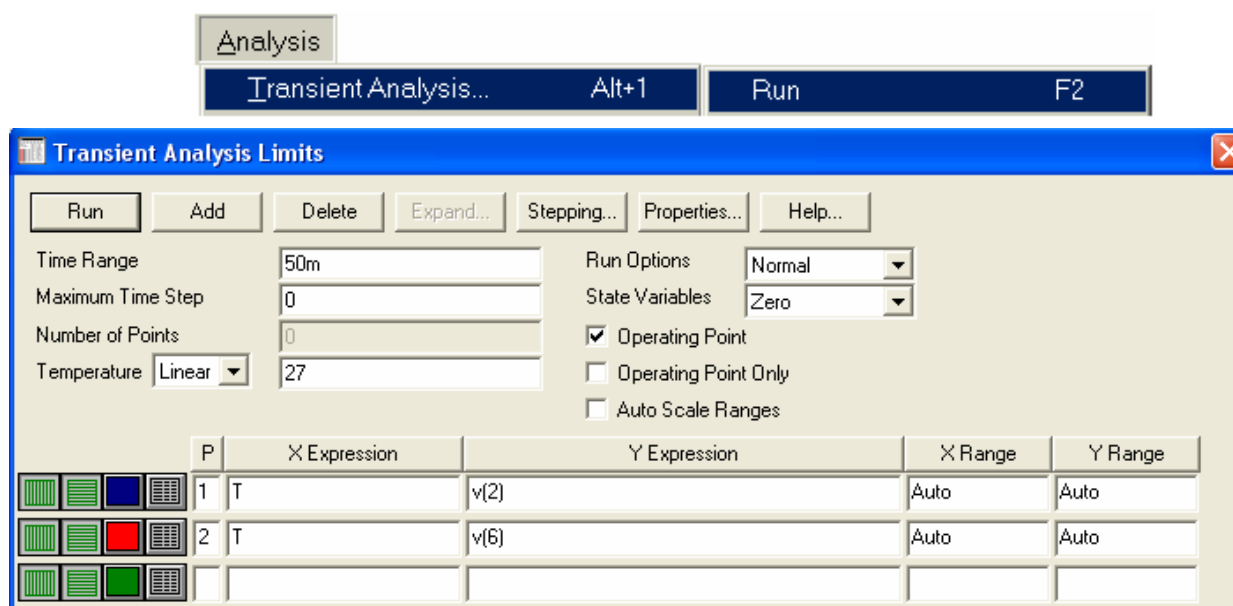


2.8. При ошибочном соединении ненужную связь необходимо выделить, подведя курсор к линии и, сделав один щелчок, нажать Delete.

2.9. Для обозначения узлов в схеме нажать кн. Node Numbers:

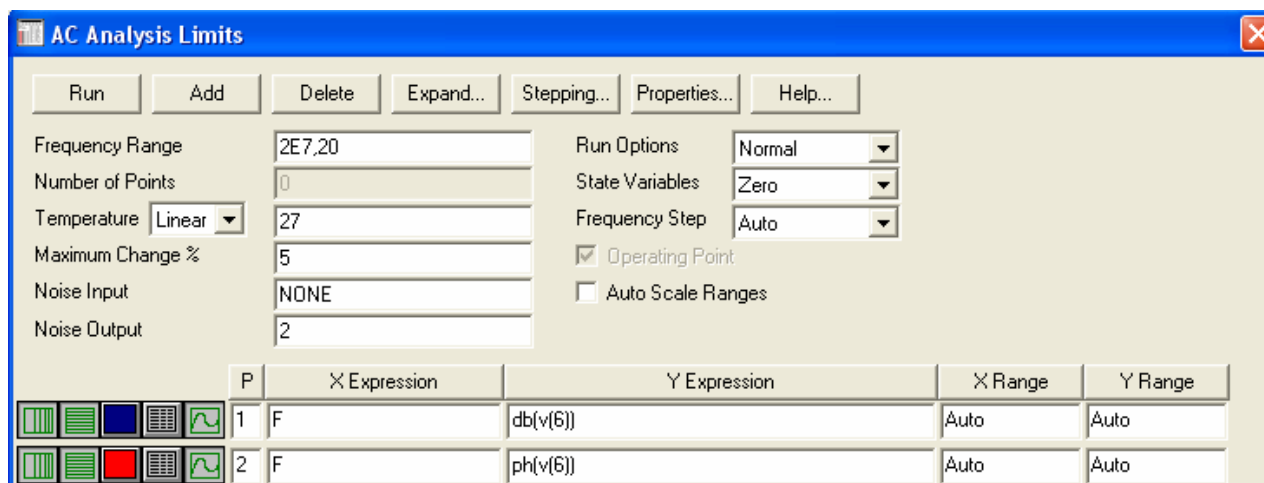
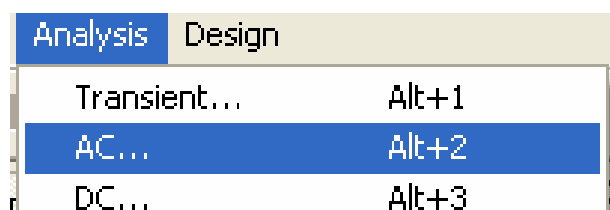


3. Для получения временных диаграмм:

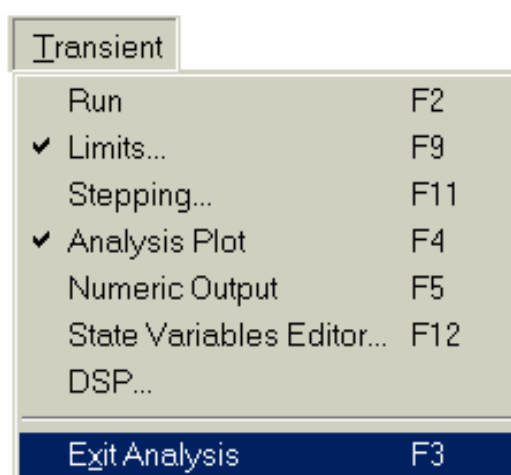


- в строке Time Range устанавливаем максимальное значение на временной оси – 50 мс;
- в столбце Y Expression в скобках установить номера входного и выходного узлов, например, v(2) и v(6);
- в столбцах X Range и Y Range с помощью правой клавиши установить режим Auto или Auto Always;
- через команду Run просмотреть полученные временные диаграммы.

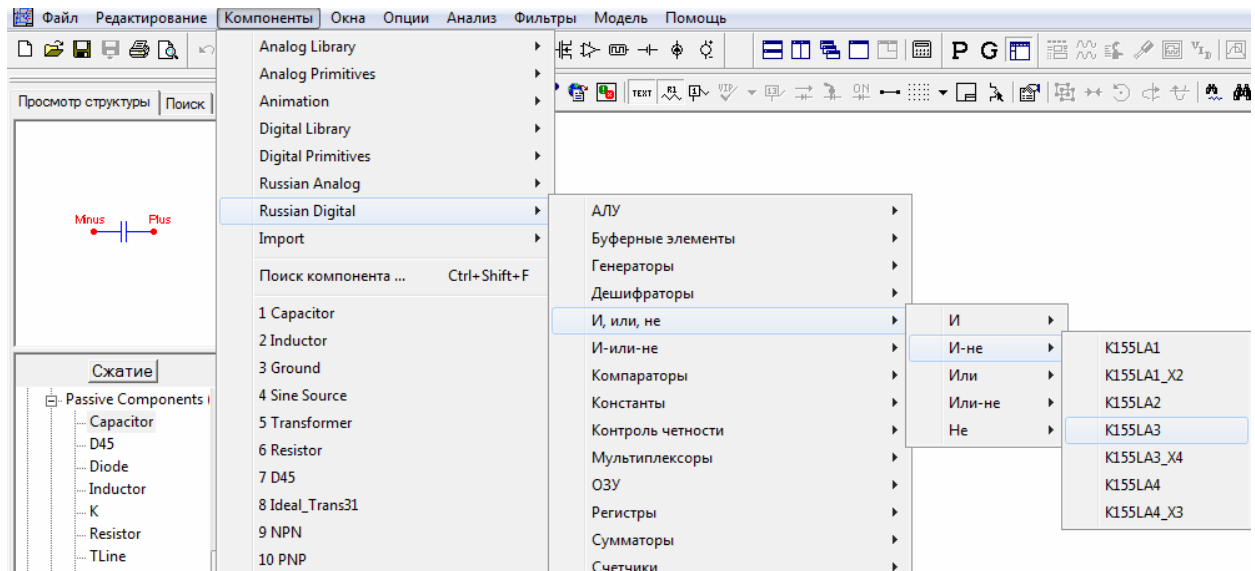
4. Для получения АЧХ и ФЧХ:



- в столбце Y Expression в строке 1 для АЧХ устанавливаем коэффициент усиления в децибелах в выходном узле: db(v(6));
 - в столбце Y Expression в строке 2 для ФЧХ устанавливаем угол сдвига фаз в выходном узле: ph(v(6));
 - в столбцах X Range и Y Range с помощью правой клавиши установить режим Auto или Auto Always;
 - через команду Run просмотреть полученные АЧХ и ФЧХ.
5. Для выхода из режима Analysis использовать кнопку Меню



6. Для создания логической схемы выбор логических элементов осуществляется в следующей последовательности:



При построении схемы можно использовать условное графическое изображение логических элементов как европейское, так и американское.

Приложение В

Справочная информация о типах, параметрах и маркировке активных
и пассивных элементов схем

Номинальные значения сопротивлений резисторов

Сопротивления выпускаемых резисторов имеют ограниченный ряд значений, который, согласно международному стандарту, называется рядом номинальных значений. Следующие величины, равные указанным значениям, умноженным на степень десяти, являются номинальными (число, стоящее после символа E, определяет количество номинальных величин в ряду):

Ряд	Числовые коэффициенты	Допустимые отклонения, %
E6	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8	20 %
E12	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 8,2	10 %
E24	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 1,1 1,6 2,4 3,6 5,1 7,5 1,2 1,8 2,7 3,9 5,6 8,2 1,3 2,0 3,0 4,3 6,2 9,1	5 %

Маркировка резисторов буквенно-цифровым кодом

Величина	Код	Величина	Код
0,47 Ом	R47	100 Ом	100R
1,0 Ом	1R0	1 кОм	1 k0
4,7 Ом	4R7	10 кОм	10 k
10 Ом	10 R	100 кОм	100 k
47 Ом	47 R	1 МОм	1 M0
		10 МОм	10 M

Номинальные значения емкостей конденсаторов

Каждый ряд задается числовыми коэффициентами. Конденсаторы изготавливают с номинальными емкостями, соответствующими одному из числовых коэффициентов, который надо умножить на 10^n , где для ряда Е6 $n = 0,1,2,3,4$, для ряда Е12 $n = 0,2,3,4$, для ряда Е24 $n = 2,3,4$.

Ряд	Числовые коэффициенты						
Е6	0,01	0,015	0,022	0,033	0,047	0,068	
Е12	0,01	0,015	0,022	0,033	0,047	0,068	
	0,012	0,018	0,027	0,039	0,056	0,082	
Е24	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
	1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1	

Маркировка конденсаторов

Большинство конденсаторов имеют напечатанные на корпусе величину емкости и рабочее напряжение, т. е. имеют буквенно-цифровую маркировку: номинальную емкость конденсатора указывают в долях фарад: М – микрофарад, Н – нанофарад, П – пикофарад.

Если емкость конденсатора имеет целое число, то единицу этой величины пишут после числа: например, 33П–33пФ. Если емкость выражается десятичной дробью меньше единицы, то буквенное обозначение ставят вместо нуля и запятой впереди числа: Н33– 0,33 нФ. Если емкость выражается десятичной дробью больше единицы, то буквенное обозначение ставят вместо запятой: 6П8–6,8 пФ.

Может использоваться цветовая маркировка, как у резисторов, при этом величина емкости указывается в пикофарадах.

Маркировка индуктивностей

Кодовая маркировка индуктивностей. Обычно для индуктивностей кодируется номинальное значение индуктивности и допуск, т. е. допускаемое отклонение от указанного номинала. Номинальное значение кодируется цифрами, а допуск – буквами.

Первые две цифры указывают значение в микрогенри (мкГн, μH), последняя – количество нулей. Следующая за цифрами буква указывает на допуск. Например,

код 101J обозначает $100 \text{ мкГн} \pm 5 \%$. Если последняя буква не указывается – допуск 20% . Исключения: для индуктивностей меньше 10 мкГн роль десятичной запятой выполняет буква R, а для индуктивностей меньше 1 мкГн – буква N.

Допуск: D= $\pm 0.3 \text{ нГн}$; J= $\pm 5 \%$; K= $\pm 10 \%$; M= $\pm 20 \%$.

Примеры обозначений:

2N2D - $2,2 \text{ нГн} \pm 0,3 \text{ нГн}$

1R0K - $1,2 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

470K - $47 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

2R2K - $2,2 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

680K - $68 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

R10M - $0,10 \text{ мкГн} \pm 20 \%$

4R7K - $4,7 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

151K - $150 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

220K - $22 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

681J - $680 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

1R0K - $1,2 \text{ мкГн} \pm 20 \%$

102 - $1000 \text{ мкГн} \pm 10 \%$

Примеры типов отечественных биполярных транзисторов и их параметров (справочная информация)

Тип элемента	$I_K \text{ max, mA}$	$I_{K, \text{и max, mA}}$	$U_{KЭR \text{ max}} (U_{KЭ0 \text{ max}}), \text{B}$	$U_{КБ0 \text{ max, B}}$	$U_{ЭБ0 \text{ max, B}}$	$P_K \text{ max} (P \text{ max}), \text{ мВт}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{п max}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	$h_{21э} (h_{21э})$	$U_{КБ} (U_{КЭ}), \text{B}$	$I_{э} (I_K), \text{mA}$	$U_{КЭ \text{ нас, B}}$	$I_{КБ0} (I_{КЭR}), \text{мкА}$	$f_{\text{гр}} (f_{h21}), \text{МГц}$	$C_K, \text{пф}$	$R_{\text{Т п-к}} (R_{\text{Т п-к}}) ^\circ\text{C/Вт}$
ГТ122А	20	150	(35)	30		(150)	55	85	70	(15...45)	(5)	1		20	(1)		200
ГТ122Б	20	150	(20)	20		(150)	55		70	(15...45)	(5)	1		20	(1)		200
ГТ122В	20	150	(20)	20		(150)	55		70	(30...60)	(5)	1		20	(2)		200
ГТ122Г	20	150	(20)	20		(150)	55		70	(30...60)	(5)	1		20	(2)		200
КТ127А-1	50		(25)	25		15	70	125	85	(15...60)	(5)	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ127Б-1	50		(25)	25		15	70	125	85	(40...200)	(5)	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ127В-1	50		(45)	45		15	70	125	85	(15...60)	(5)	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ127Г-1	50		(45)	45		15	70	125	85	(40...200)	(5)	1	0.5	1	0.1	5	300
КТ302А	10		15	15	4	100	35		85	110...250	(1)	0.11		1			
КТ302Б	10		15	15	4	100	35		85	90...150	(3)	2		1			
КТ302В	10		15	15	4	100	35		85	110...250	(1.5)	0.5		1			
КТ302Г	10		15	15	4	100	35		85	200...800	(3.5)	5		1			
М3А	50	100	(15)	15	10	75	25		73	(18...55)	1	10	0.5	(20)	1	35	800
МП10	20	150	(15)	15	15	(150)	55	85	70	10...30	5	1		30	(1)	60	200
МП101	20	100	20	20	20	150	75	150	125	10...25	5	1		(3)	(0.5)	150	556
МП101А	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	10...30	5	1		1	(0.5)	150	283
МП101Б	20	100	20	20	20	150	75	150	125	15...45	5	1		(3)	(0.5)	150	556
МП102	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	15...45	5	1		(3)	(0.5)	150	283
МП103	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	15...45	5	1		(3)	(1)	150	283
МП103А	20	100	10	10	10	(150)	75	150	125	10...30	5	1		(3)	(1)	150	283

Примеры типов зарубежных аналогов биполярных транзисторов и их параметров (справочная информация)

Тип элемента	Материал	$I_K \text{ max, mA}$	$I_{K,н} \text{ max, mA}$	$U_{KЭR} \text{ max, В}$	$U_{KЭ0} \text{ max, В}$	$U_{KB0} \text{ max, В}$	$U_{ЭB0} \text{ max, В}$	$P_{K, \text{max}} (P_{\text{max}}) \text{ мВт}$	$T, ^\circ\text{C}$	$T_{п \text{ max}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	$h_{21э} (h_{21э})$ [$S_{21} \text{ тип}$]	$U_{KB} (U_{KЭ}), \text{В}$	$I_{Э} (I_K), \text{mA}$	$U_{KЭ \text{ нас}}, \text{В}$	$I_{KB0} (I_{KЭR}), \text{мкА}$	$f_{гр} (f_{h21}), \text{МГц}$	$C_K, \text{пф}$
2N1000	Ge				25	40		150			100	25	0.5	100		15	7	20
2N1005	Si	25			15	15		150			175	10	5	10		0.1		
2N1006	Si	25			15	15		150			175	25	5	10		0.1		
2N1010	Ge	2			10	10		20			60	35	3	0.3		10	2	
2N1012	Ge				22	40		150			100	40	0.25	100		5	3	20
2N103	Ge	10				35		50			75	4	4.5	1		50	0.75	20
2N1058	Ge	50			20			50			75	10	6	1		50	6	10
2N1059	Ge	100			15	40		180			75	75	6	35		50	0.01	
2N1074	Si	100			40	50		250			150	14	5	5		1	0.2	65
2N1075	Si	50			35	50		250			150	25	5	50		1	0.3	65
2N1076	Si	50			30	50		250			150	50	5	5		1	0.4	65
2N1077	Si	50			35	50		250			150	9	6	1		1	0.2	70
2N1082	Si	50			25	25		200			175	10	5	10		0.5		5
2N1086A	Ge	20			9	9		65			100	40	5	1		3	8	
2N1087	Ge	20			9	9		65			100	40	5	1		3	8	
2N1088	Ge	20			9	9		65			100	40	5	1		3	8	
2N1090	Ge	400			15	25		120			100	50	0.2	20		25	7	17

Учебное издание

Матвееенко Ирина Петровна

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ И СХЕМОТЕХНИКА

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *Н. М. Матвейчук*

Корректор *Г. В. Анисимова*

Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*

Дизайн обложки *Д. О. Михеевой*

Подписано в печать 04.09.2025. Формат 60×84 ¹/₈

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 10,69. Уч.-изд. л. 4,18. Тираж 50 экз. Заказ 189.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.