



Министерство образования Республики Беларусь  
Филиал Учреждения образования «Брестский  
государственный технический университет" Политехнический  
колледж

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора  
по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Маркина

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта

для учащихся специальности

2–39 02 32 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»

Разработала: М.О. Храпунова, преподаватель Филиала БрГТУ  
Политехнический колледж.

Методические указания разработаны на основании учебной программы  
«Теоретические основы электротехники», утвержденной директором Филиала  
БрГТУ Политехнический колледж 14.06.2016 г.

Методические указания обсуждены и рекомендованы к использованию  
на заседании цикловой комиссии радиотехнических дисциплин

Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Председатель цикловой комиссии \_\_\_\_\_ Л.П. Бойко

## Содержание

Предисловие .....	4
1 Содержание и оформление курсового проекта .....	6
1.1 Структура пояснительной записки .....	6
1.2 Требования к изложению текста ПЗ .....	8
1.3 Общие правила выполнения схем .....	10
1.4 Оформление перечня элементов .....	11
2 Методические указания по выполнению отдельных разделов пояснительной записки курсового проекта .....	13
Введение .....	13
1 Общая часть .....	13
1.1 Анализ технического задания .....	13
1.2 Разработка схемы электрической структурной .....	13
1.3 Разработка схемы электрической принципиальной .....	14
1.4 Выбор элементной базы .....	15
2 Расчетная часть .....	16
2.1 Расчет маломощного трансформатора .....	17
2.2 Расчет выпрямителя на нагрузку емкостного характера .....	21
2.3 Расчет полупроводникового стабилизатора .....	25
3 Экспериментальная часть .....	34
3.1 Описание конструкции изделия .....	34
3.2 Проверка работоспособности и измерение характеристик .....	34
Заключение .....	34
Список использованных источников .....	35
Приложение А .....	36
Приложение Б .....	37
Приложение В .....	38
Приложение Г .....	39
Приложение Д .....	41
Приложение Е .....	43
Приложение Ж .....	45
Приложение К .....	48
Приложение Л .....	50
Приложение М .....	52

## Предисловие

Курсовой проект (КП) – самостоятельная комплексная работа, выполняемая учащимся с целью систематизации, углубления, закрепления и практического применения полученных знаний и практических умений при изучении дисциплины «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ), формирования навыков самостоятельной работы при решении профессиональных задач.

Основными разделами дисциплины «ТОЭ» являются разделы, направленные на изучение и применение законов постоянного и переменного токов, необходимых для создания и расчета соответствующих электрических цепей. Эти разделы тесно переплетаются с вопросами, изучаемыми в теме «Электрическое и магнитное поле».

В результате изучения дисциплины «Теоретические основы электротехники» учащийся должен:

*знать на уровне представления:*

- основные способы получения, передачи на расстояние и практическое использование электроэнергии;

- единую электросистему, роль и значение электроэнергии в экономике;

- основные направления снижения потерь электрической энергии;

*знать на уровне понимания:*

- основные электрические и магнитные явления, их физическую сущность и возможности практического применения;

- физические законы и следствия, на которых основана электротехника;

- термины и определения электротехники, единицы измерения, условные графические изображения и буквенные обозначения электротехнических величин и элементов электрических цепей;

- методы расчета электрических цепей постоянного и переменного тока;

- правила построения и сборки электрических схем;

- классификацию, принцип действия и области применения трансформаторов, электрических машин переменного и постоянного тока, электромагнитных элементов автоматики и других приборов;

- правила эксплуатации электрооборудования;

*уметь:*

- читать схемы, определять назначение элементов, анализировать режим работы электрических цепей;

- собирать простейшие схемы при последовательном и параллельном соединении элементов;

- рассчитывать параметры электрических схем;

- подбирать по назначению электрические приборы, выполнять электрические измерения;

- рассчитывать и проектировать схемы различных электрических цепей в соответствии с техническими условиями и с учетом требований энергосбережения, выбирать наиболее оптимальный вариант;

- применять методы расчета электрических цепей при проектировании простейших узлов радиоэлектронных средств;

– подбирать электрические машины и электромагнитные элементы автоматики в соответствии с технологическим процессом и конкретными исходными данными.

Исходя из требований к дисциплине, наиболее целесообразной тематикой курсового проектирования является разработка источников вторичного электропитания (блоков питания), структура и принципы, работы которых основаны на применении законов переменного и постоянного токов.

Для целей и задач дисциплины «ТОЭ» наиболее удачными являются блоки питания с трансформаторным входом, так как они учитывают тему «Электрическое и магнитное поле». Поэтому, в ходе курсового проектирования учащимся целесообразно разрабатывать именно такие блоки питания.

Преподаватель при формулировании темы каждому учащемуся указывает отличительные особенности функциональных узлов блоков питания и определяет различные входные и выходные характеристики и параметры.

Методические указания имеют цель оказать помощь учащимся в написании и оформлении пояснительной записки курсового проекта, в изготовлении блоков питания и проведении экспериментальных исследований с ними.

# 1 Содержание и оформление курсового проекта

## 1.1 Структура пояснительной записки

Законченный курсовой проект (КП) состоит из:

- пояснительной записки (ПЗ) объемом 30 страниц печатного текста или 60 страниц рукописного текста чертежным шрифтом с необходимым количеством схем, рисунков, таблиц;
- графической части (2 листа формата А3: на первом листе – схема электрическая структурная блока питания; на втором листе – схема электрическая принципиальная блока питания);
- реальной части (выполненной на печатной плате и помещенной в корпус блок питания).

КП должен быть оформлен в строгом соответствии с государственными стандартами и требованиями ЕСКД и ЕСТД.

Структура ПЗ должна быть следующей:

- титульный лист (Приложение А);
- лист задания;
- содержание ПЗ;
- введение;
- основной текст ПЗ;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения;
- графическая часть.

**ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ.** (Приложение А) Титульный лист не нумеруется, но при нумерации страниц считается.

**ЛИСТ ЗАДАНИЯ.** Лист задания не нумеруется и не считается при нумерации страниц.

**СОДЕРЖАНИЕ ПЗ.** Лист с содержанием нумеруется вторым после титульного, не учитывая листа задания для КП. На первом листе внизу должна быть основная надпись по ГОСТ 2.104–2006 (Приложение Б.2) на последующих – (Приложение Б.3). Слово «Содержание» записывают в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы и выделяют полужирным шрифтом. В содержании приводят порядковые номера и заголовки разделов (при необходимости – подразделов), обозначения и заголовки приложений. После заголовка каждого раздела (подраздела) ставят отточие и приводят номер страницы, на которой начинается данный элемент.

Заголовки разделов, включённые в содержание, записывают с абзацного отступа, равного пяти знакам, строчными буквами, начиная с прописной буквы и выделяя увеличенным размером шрифта – 16. Обозначения подразделов приводят после абзацного отступа, равного двум знакам относительно обозначения разделов. При продолжении записи заголовка раздела или подраздела на второй

(последующей) строке его начинают с отступом, соответствующим началу этого заголовка на первой строке, а при продолжении записи заголовка приложения – с отступом, соответствующим началу записи его обозначения.

**ВВЕДЕНИЕ.** Введение не нумеруют и размещают после страницы, на которой заканчивается «Содержание» на отдельном листе. Слово «Введение» записывают в верхней части страницы посередине с прописной буквы, выделяют полужирным шрифтом, размер шрифта – 16.

**ОСНОВНОЙ ТЕКСТ ПЗ.** Текст размещается на листах формата А4 (с одной стороны). В соответствии с требованиями ГОСТ 2.105 – 95 абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту и равен пяти знакам. Расстояние от рамки формы до границ текста в начале и конце строк – не менее 3 мм, от верхней и нижней строки текста до верхней или нижней рамки – не менее 10 мм.

Текстовую часть ПЗ выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106–96. На листах ПЗ внизу должна быть основная надпись по ГОСТ 2.104–2006 (Приложение Б.3). Текст ПЗ должен быть разбит на разделы, подразделы, пункты и подпункты, которые нумеруются арабскими цифрами и записывают с абзацного отступа и выделяют полужирным шрифтом. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всего текста основной части. Каждый раздел пишется с новой страницы.

Текстовую часть ПЗ выполняют любым из следующих способов:

- машинописным, шрифт не менее 2,5мм, – лентой только черного цвета (полужирная);

- рукописным – чертёжным шрифтом по ГОСТ 2.304-81 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Цифры и буквы необходимо писать чётко чёрной тушью;

- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004–88). В соответствии с ГОСТ 2.004–88 и СТО БГПК 001-2011 текст ПЗ набирается шрифтом Times New Roman, размер шрифта 14. Расстояние между заголовком раздела (подраздела) и предыдущим или последующим текстом, а также между заголовками раздела и подраздела должно быть не менее двух интервалов. Расстояние между строками заголовков подразделов и пунктов принимают таким же, как и в тексте.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Размещают на отдельном листе. Слово «Заключение» записывают в верхней части страницы посередине с прописной буквы, выделяют полужирным шрифтом, размер шрифта – 16.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.** Список использованных источников включает в себя все источники, которые необходимы были для выполнения задания, располагают их в алфавитном порядке с указанием автора и полного наименования источника, в соответствии с ГОСТ 7.1–84\*. Ссылки на источники в ПЗ производят согласно нумерации, приведенной в квадратных скобках.

Примеры: [1] для трех и более авторов; [2] для двух авторов; [3] издание под редакцией одного из авторов; [4] для одного автора

**[1] Достанко, А.П.** Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства / А.П. Достанко, В.П. Панин [и др.] Мн., 2002.

**[2] Норенков, И.П.** Основы теории и проектирования САПР / И.П. Норенков, В.Б. Маничев. М., 1990.

[3] **Справочник.** Разработка и оформление конструкторской документации РЭА / Под ред. Э.Т. Романычевой. М., 1989.

[4] **Фрумкин, Г.Д.** Расчет и конструирование радиоаппаратуры / Г.Д. Фрумкин. М., 1989.

**ПРИЛОЖЕНИЯ.** Приложения (графический материал, таблицы большого формата, расчёты, описания аппаратуры и приборов, описания алгоритмов и программ ЭВМ) оформляют как продолжение ПЗ (данного документа) и располагают в порядке ссылок на них в тексте ПЗ (документа), каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения заглавными буквами русского алфавита, начиная с А (Б, В, Г, Д, ... за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ъ, Ы, Ь), допускаются заглавные буквы латинского алфавита, кроме I, O, в случае полного использования букв допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Каждое приложение ПЗ должно иметь отдельную нумерацию страниц.

## **1.2 Требования к изложению текста ПЗ**

Полное наименование изделия на титульном листе, в основной надписи, и при первом упоминании в тексте ПЗ должно быть одинаковым с наименованием его в основном конструкторском документе и начинающимся с имени существительного.

В последующем тексте порядок слов в наименовании должен быть прямой – на первом месте определение (имя прилагательное), а затем название (имя существительное), допускается употреблять сокращённое наименование изделия. Наименования в тексте и на иллюстрациях должно быть одинаковым.

Текст ПЗ должен быть кратким, чётким и не допускать разных толкований. При изложении должны применяться слова:

- «должен», «следует», «необходимо», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не следует», «могут быть», «как правило», «при необходимости», «может быть», «в случае»;

- повествовательной формы: «применяют», «указывают» и т.д.;

- термины, установленные стандартами и общепринятые в научно-технической литературе;

- для математических знаков: минус (-) – слово «минус», без числовых значений, слова – «больше», «меньше», «равно», «должно быть не более (не менее)»;

- для диапазона числовых значений – 1,50; 1,75; 2,00 м; от 1 до 5 мм; от плюс 10 до минус 40 °С; от плюс 10 до плюс 50 °С;

- для обозначения диаметра – слово «диаметр»;

- для формул, например, плотность каждого образца  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют по формуле:

$$\rho = m/V, \quad (1.2.1)$$

где  $m$  - масса образца, кг;  
 $V$  - объём образца, м<sup>3</sup>.

- переносить формулы на следующую строку – только на знаках выполняемых операций, причём знак в начале следующей строки повторяют (для знака умножения применяют знак «х»);

- ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, в формуле (1);

- для поясняющих надписей, наносимых на изготавливаемое изделие – шрифтом без кавычек, например, ВКЛ., ОТКЛ. или с кавычками, если надпись состоит из цифр и (или) знаков и наименования команды, режима, сигнала, например, "Сигнал + 27В включено";

- для принятой особой системы сокращений слов или наименований перечень их помещают в конце ПЗ перед перечнем терминов.

В тексте НЕ ДОПУСКАЕТСЯ ПРИМЕНЯТЬ:

- обороты разговорной речи;
- для одного и того же понятия различные технические термины;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами орфографии, стандартами, а также в данном документе;
- сокращённые обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр.

Содержание ПЗ рекомендуется иллюстрировать необходимым и достаточным количеством графического материала (схемы, графики, диаграммы). Все элементы графического материала должны быть пронумерованы и упомянуты в тексте ПЗ.

К графическим материалам предъявляются требования в соответствии с ГОСТ 2.105–95. Все рисунки, иллюстрирующие текст проекта, должны быть пронумерованы арабскими цифрами в пределах всего проекта сквозной нумерацией (Например: Рисунок 1; Рисунок 2 и т.д.), а в тексте должны быть ссылки на эти рисунки (Например: «...в соответствии с рисунком 3»). Каждый рисунок, при необходимости, может иметь подрисуночный текст. Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных, оформляют полужирным уменьшенным размером шрифта и располагают следующим образом: «Рисунок 3 – Схема электрическая структурная».

Все таблицы ПЗ, за исключением таблиц приложений, нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией. Слово «Таблица», ее номер и наименование записывают полужирным уменьшенным размером шрифта, не ставя точку после номера таблицы, наименование таблицы записывают с прописной буквы, например: «Таблица 1 – Типы производства и партии запуска», проставляемыми слева над таблицей, а в тексте должны быть ссылки на эти таблицы: слово «таблица» с указанием её номера. Переносы в словах в наименовании таблицы не допускаются. Название таблицы должно быть точным и кратким.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими

цифрами с добавлением перед цифрой обозначение приложения, например, «Таблица В.3».

Заголовок раздела (подраздела) пишут, отделяя от номера пробелом, начиная с прописной буквы, не приводя точку в конце и не подчёркивая, и выделяют полужирным увеличенным размером шрифта – 16. Пункты, как правило, заголовков не имеют. При этом номер раздела (подраздела, пункта), пишут после абзацного отступа. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. В заголовках не допускается перенос слов на следующую строку, применение римских цифр, математических знаков и греческих букв.

Внутри пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления. Перечисления выделяют в тексте абзачным отступом, который используют только в первой строке. Вторую строку в перечислении приводят без абзацного отступа. Перед каждой позицией перечисления ставят дефис или строчную букву, после которой ставится скобка, при необходимости ссылки в КП на одно из перечислений.

Для дальнейшей детализации перечисления необходимо использовать арабские цифры, после которых ставят скобку, приводя их со смещением вправо на два знака относительно перечислений, обозначенных буквами. После каждого перечисления, кроме последнего, ставят точку с запятой.

### **1.3 Общие правила выполнения схем**

ГОСТ 2.701–2008 «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» устанавливает классификацию, обозначение схем и общие требования к их выполнению для изделий всех отраслей промышленности.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба; действительное пространственное расположение составных частей изделия (установки) не учитывают или учитывается приближенно.

Условные графические изображения элементов (УГО), устройств, функциональных групп и соединяющие их линии взаимосвязи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его основных частей.

Расстояние (просвет) между двумя соседними линиями УГО должно быть не менее 1,0 мм. Расстояние между соседними параллельными линиями взаимосвязи должно быть не менее 3,0 мм. Расстояние между отдельными УГО должно быть не менее 2,0 мм. Линии взаимосвязи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров УГО. Рекомендуемая толщина линий – от 0,3 до 0,4 мм. Линии взаимосвязи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений. УГО на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии взаимосвязи.

Правила выполнения электрических схем установлены ГОСТ 2.702–75.

На структурной схеме изображают все основные функциональные части в виде прямоугольников или условных графических обозначений и основные взаимосвязи между ними. На линиях взаимосвязи рекомендуется стрелками

изображать направление хода процессов, происходящих в изделии. В прямоугольники, изображающие функциональные части, вписывают наименования, типы или обозначения функциональных частей.

На принципиальной схеме в виде УГО (ГОСТ 2.721–74) изображают все электрические элементы и показывают все связи между ними. Электрические элементы, как правило, изображают в отключенном положении. Схемы выполняют в однолинейном или многолинейном изображении. При однолинейном способе все цепи, выполняющие одинаковые функции, изображают одной линией, а аналогичные элементы, содержащиеся в указанных цепях – одним условным графическим обозначением. При многолинейном способе изображают все цепи и элементы. Около каждого элемента, входящего в устройство и изображенного на электрической схеме, указывают буквенно-цифровое позиционное обозначение, и при необходимости, номинальное значение величины. Цифры порядковых номеров элементов и их буквенные позиционные обозначения следует выполнять шрифтом одного размера. Позиционные обозначения элементов проставляют на схеме рядом с условными обозначениями элементов с правой стороны или над ними. Порядковые номера должны быть присвоены с последовательностью расположения элементов на схеме, считая, как правило, сверху вниз и в направлении слева направо.

Вид линий должен соответствовать ГОСТ 2.303–68. Выбранные толщины линий должны быть постоянными во всех схемах на изделие.

При выполнении на чертежах надписей используют шрифты чертежные по ГОСТ 2.304–81, прямой и наклонный (угол наклона 75°). На чертежах КП допускается производить надписи с помощью трафаретов (плакатное исполнение) и ЭВМ.

Высота букв и цифр устанавливается: 2.5; 3.5; 5; 7; 10; 14 и 20 мм. При этом минимальная высота должна быть 2.5 мм и 3.5 мм при исполнении тушью и карандашом соответственно. Расстояние между цифрами и отдельными словами должна быть не менее ширины букв текста, а расстояние между основаниями строк не менее 1.5 высоты шрифта.

## **1.4 Оформление перечня элементов**

В перечне элементов записываются все сведения об элементах, входящих в состав изделия и изображенных на схеме. Связь схемы с УГО, принятыми в схеме, должна осуществляться через позиционные обозначения.

Перечень элементов выполняют на листах формата А4 с присвоением шифра, состоящего из буквы П (перечень) и кода схемы, к которой делается перечень. Основную надпись к нему – по ГОСТ 2.104-2006, форма 2. На первом листе (Приложение Б.2), на последующих листах (Приложение Б.3).

Перечень элементов оформляют в виде таблицы (Приложение В) заполняемой сверху вниз.

В графах таблицы указывают следующие данные:

- в графе «Поз. обозначение» – позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп;

- в графе «Наименование» – для элемента (устройства) – наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ: межгосударственный стандарт, стандарт организации, технические условия); для функциональной группы – наименование;

- в графе «Примечание» – рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

Элементы записывают в перечень группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагаются по возрастанию порядковых номеров. Элементы одного типа с одинаковыми электрическими параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку. В этом случае в графу «Поз. обозначение» вписывают только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, а в графу «Кол.» – общее количество таких элементов.

Буквенные позиционные обозначения элементов (устройств) должны соответствовать ГОСТ 2.710–81.

## **2 Методические указания по выполнению отдельных разделов пояснительной записки курсового проекта**

### **Введение**

Во введении необходимо охарактеризовать систему электропитания радиоаппаратуры различного назначения, дать определения источникам первичного и вторичного электропитания и разъяснить особенности построения различных источников вторичного электропитания. Введение необходимо закончить назначением и практическим применением разрабатываемого блока питания.

### **1 Общая часть**

#### **1.1 Анализ технического задания**

В этом подразделе производится анализ исходных данных с целью уяснения:

- назначения разрабатываемого устройства;
- применения разрабатываемого устройства: самостоятельное (автономное) или в составе более сложного узла (лабораторной установки);
- электропитания – первичное, вторичное, потребляемая мощность, и другие характеристики;
- габаритов установки, которые должны быть не больше заданных;
- условий эксплуатации по ГОСТ 15150-69:

1) климатическое исполнение – умеренный климат (У), умеренно холодный (УХЛ), тропический влажный (ТВ); умеренно холодный морской (М), тропический морской (ТМ), тропический сухой (ТС), сухой и влажный тропический (Т), общеклиматический для суши (О), умеренно холодный и тропический морской (ОМ), всепогодный для суши и моря (В);

2) категория условий эксплуатации – на открытом воздухе (1), под навесом (2), в закрытых помещениях с естественной вентиляцией (3), в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (4), в помещениях с повышенной влажностью (5);

- требований безопасности работы, для чего необходимо правильно выбрать конструкцию, материалы, предусмотреть средства защиты от коротких замыканий и заземление.

#### **1.2 Разработка схемы электрической структурной**

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их

назначение и взаимосвязи. Ее разрабатывают при проектировании изделий на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются ей при эксплуатации для общего ознакомления с изделием.

Поэтому в данном подразделе необходимо провести анализ существующих структурных схем блоков питания, построенных различными способами и на различной элементной базе. Дать сравнительную оценку способов построения по экономичности, надежности и обосновывать выбор структурной схемы с учетом назначения устройства и соответствия техническому заданию. Далее необходимо кратко пояснить назначение отдельных блоков, их взаимодействие и принцип работы блока питания по выбранной схеме.

Для правильного выбора структурной схемы целесообразно из существующих методов выбрать один. Существует три метода разработки: эвристический, математический и функционального наращивания.

Эвристический метод – основан на накоплении опыта, анализе литературы и интуитивных соображений. На основе анализа исходных данных создается несколько моделей структурных схем и выбирается наиболее простая, надежная и дешевая.

Математический метод – на основе исходных данных создается модель – математическое описание внешних воздействий. Проводится анализ модели (математический расчет, имитационное моделирование на ЭВМ, испытание макетов). В результате анализа модели определяются значения показателей качества в зависимости от параметров модели. Таких моделей может быть несколько.

Метод функционального наращивания – применяется наиболее часто. Он заключается в следующем. На основе исходных данных составляется перечень функций, которые должно реализовать разрабатываемое устройство. Далее изображается схема этого устройства путем условных прямоугольных изображений структурных единиц с изображением линий связи между ними, в соответствующем порядке узлов, реализующих эти функции.

### **1.3 Разработка схемы электрической принципиальной**

Принципиальная схема определяет полный состав элементов и связей между ними, и, как правило, дает детальное представление о принципах работы изделия. Принципиальная схема служит основанием для разработки других конструкторских документов, и пользуются ей для изучения принципов работы изделия, а также при их наладке, регулировке, контроле и ремонте.

Основной задачей разработки схемы электрической принципиальной является выбор и обоснование принципиальных схем функциональных узлов, на основе которых строится общая схема электрическая принципиальная блока питания.

После проведенного анализа схемных решений одного из функциональных узлов блока питания приводится выбранная схема электрическая принципиальная функционального узла. Критерии выбора: простота, надежность, стоимость при

выполнении заданных требований. Она может быть дополнена новыми схемными решениями.

Выбранная схема узла вычерчивается полностью в ПЗ с буквенно-цифровыми обозначениями. При этом номиналы значений параметров электрорадиоэлементов (ЭРЭ) не обозначаются. Номиналы значений параметров ЭРЭ обозначаются после проектировочного расчета и выбора номинального значения из рядов номиналов Е 12, Е 24. На основании принципиальных схем узлов строится схема электрическая принципиальная блока питания, которая вычерчивается полностью в ПЗ с буквенно-цифровыми обозначениями на формате А4 и А3. Эта схема является основной для проектировочного расчета и оформления графической части КП.

## 1.4 Выбор элементной базы

Данный подраздел тесно связан с разработкой схемы электрической принципиальной. Выбор ЭРЭ должен быть сделан так, чтобы обеспечить надежную работу узла, каскада, блока питания в целом. При этом необходимо стремиться к выбору недорогих элементов, имеющих широкое применение в современной радиоаппаратуре, к максимальной микросхемизации разрабатываемого узла и добиваться максимальной простоты сборки и электрического монтажа, регулировки и эксплуатации. Все ЭРЭ выбираются по справочной литературе и техническим условиям (ТУ).

Следует также учесть следующие особенности выбора.

- ИМС выбираются:

1) по функциональному назначению (аналоговые, многофункциональные, усилители, преобразователи, стабилизаторы, цифровые);

2) по рабочему диапазону частот, рабочему напряжению, потребляемому току, температурной стабильности параметров.

- Транзисторы выбираются для работы в узле РЭС с учетом таких параметров:

1) коэффициент усиления на рабочих частотах ( $h_{21}$ );

2) максимальная рассеиваемая мощность на коллекторе;

3) максимальное допустимое напряжение между коллектором и эмиттером (базой);

4) максимальная рабочая частота;

5) величина входного сопротивления (биполярные или полевые транзисторы).

- Резисторы выбираются:

1) по величине рассеиваемой мощности ( $K_n = 0,5 - 0,6$ );

2) по типу проводящего слоя — непроволочные, проволочные (подстроечные);

3) по максимальному рабочему напряжению;

4) по классу точности от  $\pm 0,1\%$  до  $20\%$ ;

5) по температурному коэффициенту сопротивления ( $TKP$ ).

Все резисторы выбираются по требуемому номинальному значению и мощности. Иногда в особо точных схемах учитывается допустимое отклонение от номинальной величины сопротивления. Допустимое отклонение от номинальной величины сопротивления зависит от типа резистора: композиционный, проволочный, угольный. Выбирая резисторы по мощности, определяется мощность рассеяния на каждом резисторе отдельно по одной из формул:  $P=UI$ ,  $P=U^2/R$ ,  $P=I^2R$ . Полученная величина увеличивается в два раза. Исходя из полученных значений, выбирают резисторы эталонных мощностей: 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10 Вт и т.д.

- Конденсаторы выбираются:

- 1) по типу - электролитические  $C > 1 - 2 \text{ мкф}$ ;
- 2) керамические и прочие  $C < 1 \text{ мкф}$ ;
- 3) по номинальному напряжению:  $U_{ном} > U_{раб} (1,3 - 1,5)$ , которое должно быть в 1,5 раза большим рабочего напряжения с учетом переменной составляющей;
- 4) по классу точности от  $\pm 1\%$  до 90%;
- 5) по температурному коэффициенту емкости ( $TKE$ ).

- Диоды выбираются:

- 1) по максимально выпрямляемому току  $I_{о\text{ max}}$ ;
- 2) по максимально допустимому обратному напряжению  $U_{обр\text{ max}}$ ;
- 3) по прямой рассеиваемой мощности  $P_{пр}$ ;
- 4) стабилитроны выбираются по напряжению стабилизации ( $U_{ст}$ ), пределам рабочего тока стабилизации ( $I_{ст\text{ min}}$  и  $I_{ст\text{ max}}$ ) и, как правило, выбираются по наименьшему току стабилизации с целью экономии потребляемого тока.

## 2 Расчетная часть

Количество рассчитываемых функциональных узлов оговаривается в задании на курсовое проектирование. Но обязательными для расчета являются: расчет маломощного трансформатора, расчет выпрямителя на нагрузку емкостного или индуктивного характера, расчет полупроводникового стабилизатора постоянного напряжения.

При проведении расчетов делаются ссылки на используемые методики, таблицы, графики, формулы, заимствованные из технической и справочной литературы.

Расчет каждого элемента должен заканчиваться выбором номинального значения ЭРЭ по разрешенным рядам номиналов, определенным в ЕСКД, рабочего напряжения, мощности рассеивания, ТКЕ, ТКС (при необходимости), предельного отклонения от номинала.

Расчеты могут быть произведены по методикам, изложенным в настоящих методических указаниях или в соответствии с [3].

## 2.1 Расчет маломощного трансформатора

Исходными параметрами расчета являются:

- напряжение питающей сети переменного тока  $U_1$ , В; частота тока сети  $f$ , Гц;
- напряжения на вторичных обмотках  $U_2, U_3, \dots, U_N$ , В; токи вторичных обмоток  $I_2, I_3, \dots, I_N$ , А или мА;
- максимальная температура окружающей среды  $T_{\text{окрmax}}$ , °С; максимально допустимая температура нагрева трансформатора  $T_{\text{тmax}}$ , °С.

Порядок расчета трансформатора.

1. Определение габаритной (потребляемой нагрузкой) мощности  $P_r$ , В·А:

а) в общем случае и для однофазного мостового выпрямителя

$$P_r = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + U_N I_N \quad (2.1.1)$$

б) в случае однополупериодного выпрямителя

$$P_r = 0,95 U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + U_N I_N \quad (2.1.2)$$

в) в случае двухполупериодного выпрямителя с выводом нулевой точки

$$P_r = 1,7 U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + U_N I_N \quad (2.1.3)$$

Затем выбирается тип магнитопровода; при этом необходимо учесть следующие рекомендации: при частоте 50 Гц для магнитопроводов используют стали марок 1511, 1512, 1513 и 3411, 3412, 3413 при толщине стальных листов или ленты 0,5 и 0,35 мм.

На основании этих рекомендаций по таблице 1 выбирается магнитопровод трансформатора (марка стали), а затем с учетом  $P_r$  определяются необходимые для расчета параметры:  $B$  – магнитная индукция, Тл;  $J$  – плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;  $k_o$  – коэффициент заполнения окна медью обмоток;  $\eta$  – КПД трансформатора. Коэффициент заполнения сечения магнитопровода сталью  $k_c$  определяется по таблице 2 в соответствии с выбранным типом магнитопровода.

2. Определение тока первичной обмотки производится в соответствии с выражением

$$I_1 = \frac{P_r}{U_1 \eta \cos \varphi_1}, \quad (2.1.4)$$

где  $\cos \varphi_1$  – коэффициент мощности трансформатора, при активной нагрузке вторичных обмоток  $\cos \varphi_2 = 1$ ;  $\cos \varphi_3 = 1$ ;  $\cos \varphi_1 = 0,9$ . При реактивном характере нагрузки  $\cos \varphi_1$  рассчитывается в соответствии с [4].

**Таблица 1 – Рекомендуемые значения  $B$ ,  $J$ ,  $\eta$ ,  $k_0$  при различных марках стали, для частоты сети 50 Гц (для проводов марки ПЭЛ, ПЭВ, ПЭТ)**

Р <sub>г</sub> , В·А	Индукция В, Тл		J, А/мм <sup>2</sup>	η	k <sub>o</sub>
	для марок стали				
	1511, 1512, 1513	3411, 3412, 3413			
10	1,10	1,20	4,8	0,85	0,22
20	1,26	1,40	3,9	0,89	0,26
40	1,37	1,55	3,2	0,92	0,28
70	1,39	1,60	2,8	0,94	0,30
100	1,35	1,60	2,5	0,95	0,31
200	1,25	1,51	2,0	0,96	0,32
400	1,13	1,43	1,6	0,97	0,33
700	1,05	1,35	1,3	0,97	0,34
1000	1,00	1,30	1,2	0,97	0,35
2000	0,90	1,20	1,1	0,97	0,36
4000	0,80	1,10	1,0	0,97	0,36
7000	0,72	1,02	1,0	0,97	0,37
10000	0,68	0,97	1,0	0,97	0,37

**Таблица 2 – Рекомендуемые значения  $k_c$  при частоте сети 50 Гц**

Марка стали	Толщина листа или ленты, мм	$k_c$ для магнитопровода	
		из пластин	ленточного
1511,1512,1513	0,50	0,93	0,97
3411,3412,3413	0,35	0,89	0,95

3. Определение исходной расчетной величины – произведения  $S_C S_0$ , см<sup>4</sup>, для выбора типоразмера магнитопровода производится по выражению

$$S_C S_0 = \frac{P_{\Gamma} \cdot 10^2}{1,11 \left( 1 + \frac{1}{\eta} \right) f B J k_0 k_c} \quad (2.1.5)$$

По полученному значению  $S_C S_0$  из таблицы типоразмеров магнитопроводов (Приложение Г) выбирается магнитопровод трансформатора; при этом необходимо учесть следующие рекомендации.

Для малых мощностей (до 100 – 200 В·А) при напряжениях менее 1 кВ следует отдать предпочтение броневым магнитопроводам (трансформаторам) как ленточным, так и из пластин, поскольку она просты по конструкции и наиболее технологичны.

При мощностях, составляющих несколько сотен вольт-ампер на частоте 50 Гц, наиболее перспективными являются стречневые трансформаторы с двумя катушками на ленточных магнитопроводах.

Трансформаторы с тороидальными ленточными магнитопроводами целесообразно применять при мощностях до 100 – 200 В·А в тех случаях, когда необходимо минимальное рассеяние или минимальный объем. Имея некоторые

преимущества по массогабаритным показателям перед броневыми и стержневыми трансформаторами, тороидальные – менее технологичны. Кроме того, при машинной намотке ограниченный радиус шпули станка вызывает сокращение применяемых типоразмеров тороидальных магнитопроводов, что, в свою очередь, приводит к ухудшению массогабаритных показателей тороидальных трансформаторов [2].

С учетом этих положений и рассчитанного  $S_C S_0$  (см. п. 3) по приложению Г выбирается тип магнитопровода и одновременно определяются следующие данные этого магнитопровода:  $S_C$  – активное сечение стержня, см<sup>2</sup>;  $a$  – ширина стержня, мм;  $b$  – толщина магнитопровода, мм;  $c$  – ширина окна, мм;  $h$  – высота окна, мм (рисунок 1).

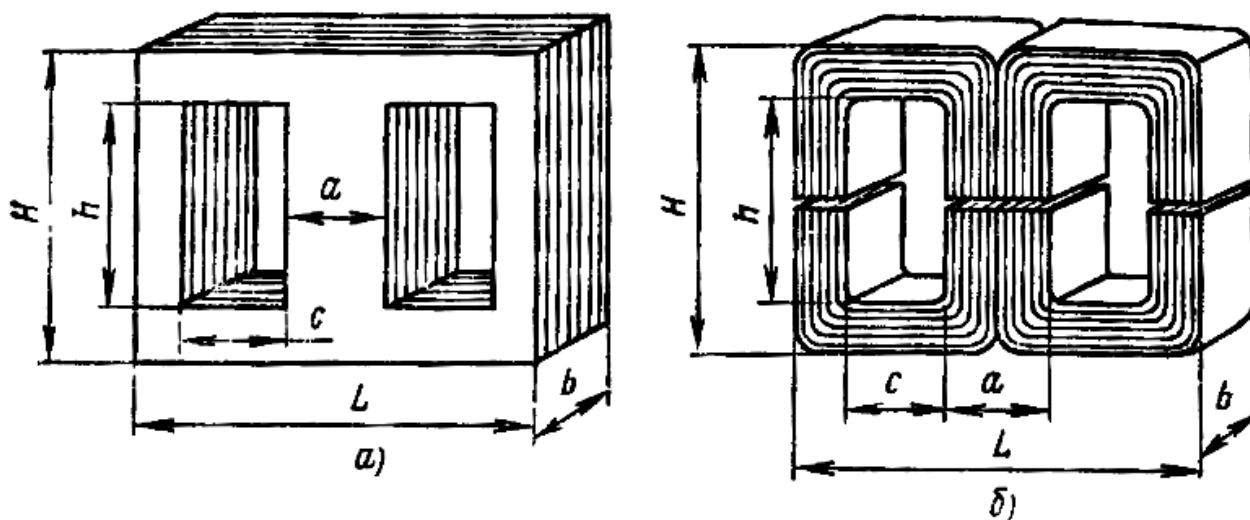
4. Определение числа витков обмоток производится по выражениям

$$\omega_1 = U_1 \left( 1 - \frac{\Delta U_{1\%}}{100} \right) \frac{10^4}{4,44 f B S_C} \quad (2.1.6)$$

$$\omega_2 = U_2 \left( 1 + \frac{\Delta U_{2\%}}{100} \right) \frac{10^4}{4,44 f B S_C}, \quad (2.1.7)$$

где  $\Delta U_{1\%}$  и  $\Delta U_{2\%}$  – относительные падения напряжения в обмотках, определяемые по таблице 3.

Примечание. Число витков вторичных обмоток  $\omega_3, \omega_4, \dots, \omega_N$  определяется по (2.1.7) с соответствующими напряжениями этих обмоток:  $U_3, U_4, \dots, U_N$  и относительными падениями напряжения в них:  $\Delta U_{3\%}, \Delta U_{4\%}, \dots, \Delta U_{N\%}$ . Если число витков получилось дробным, принимается ближайшее большее целое число.



а) броневого из штампованных пластин; б) броневого ленточного

Рисунок 1 – Типовые магнитопроводы

**Таблица 3 – Рекомендуемые значения  $\Delta U_{1\%}$  и  $\Delta U_{2\%}$  при частоте сети 50 Гц**

$\Delta U_{\%}$	Габаритная мощность $P_{\Gamma}$ , В·А			
	15–50	50–150	150–300	300–1000
$\Delta U_{1\%}$	15–5	5–4	4–3	3–1
$\Delta U_{2\%}$	20–10	10–8	8–6	6–2

5. Определение сечения провода обмоток,  $\text{мм}^2$ , производится по формуле

$$q_{np} = \frac{I}{J}, \quad (2.1.8)$$

где  $J$  – плотность тока в обмотках (таблица 1).

По полученному значению  $q_{np}$  в приложении Д выбираются ближайшее (большее) стандартное сечение и соответствующий ему диаметр каждой из обмоток.

6. Определение возможности размещения обмоток в окне выбранного магнитопровода производится после расчета необходимой ширины окна. С этой целью определяется толщина каждой обмотки трансформатора, для чего:

а) определяется число витков первичной обмотки в одном слое:

$$\omega_{11} = \frac{h - 2\varepsilon_1}{d_1}, \quad (2.1.9)$$

где  $h$  — высота окна магнитопровода (из п. 4), мм;

$\varepsilon_1$  – расстояние обмотки до ярма, обычно  $\varepsilon_1 = 2 - 5$  мм;

$d_1$  – диаметр провода обмотки (из п. 5), мм.

Полученное по (2.1.9) число  $\omega_{11}$  округляется до ближайшего меньшего целого значения. В случае применения в броневом трансформаторе листов с одним зазором число витков в одном слое следует вычислять по формуле

$$\omega_{11} \approx 0,9 \frac{h - 2\varepsilon_1}{d_1} \quad (2.1.10)$$

б) определяется число слоев обмотки

$$m_1 \approx \frac{\omega_1}{\omega_{11}} \quad (2.1.11)$$

Полученное значение  $m_1$ , округляется до ближайшего большего числа;

в) определяется толщина обмотки

$$\delta_1 \approx m_1 (d_1 + \gamma_1), \quad (2.1.12)$$

где  $\gamma_1$  – толщина изоляционной прокладки, которая применяется, если напряжение между слоями превышает 50 В ( $\gamma_1 = 0,05 - 0,08$  мм).

Аналогичным образом определяются  $\omega_{12}$ ,  $m_2$  и  $\delta_2$  для вторичной обмотки  $\omega_2$  и для остальных вторичных обмоток трансформатора. Наконец, после определения толщины каждой из обмоток  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_N$  можно рассчитать необходимую ширину окна, мм, которая для броневого магнитопровода выражается следующим образом:

$$c_{\text{необх}} = k(\varepsilon_2 + \delta_1 + \delta_{1,2} + \delta_2 + \delta_{2,3} + \dots + \delta_{N-1} + \delta_{N-1,N} + \delta_N + \varepsilon_3) + \varepsilon_4, \quad (2.1.13)$$

где  $k$  – коэффициент разбухания обмоток за счет неплотного прилегания слоев,  $k=1,2-1,3$ ;

$\varepsilon_2$  – толщина изоляции между обмотками и стержнем, она выполняется из электрокартона или гетинакса,  $\varepsilon_2=1,0-2,0$  мм;

$\delta_{1,2}, \delta_{2,3}, \delta_{N-1,N}$  – толщина изоляции между обмотками; она выполняется обычно из лакоткани и составляет  $0,5-1,0$  мм;

$\varepsilon_3$  – толщина наружной изоляции катушки;  $\varepsilon_3=5-1,0$  мм;

$\varepsilon_4$  – расстояние от катушки до второго стержня,  $\varepsilon_4=1-4$  мм.

Полученное значение  $c_{\text{необх}}$  сравнивается с  $c$  – шириной окна выбранного магнитопровода, причем  $c$  должно быть не меньше  $c_{\text{необх}}$ , т.е.

$$c \geq c_{\text{необх}} \quad (2.1.14)$$

## 2.2 Расчет выпрямителя на нагрузку емкостного характера

Выпрямители с емкостной реакцией нагрузки (сглаживающий фильтр в этих выпрямителях начинается с емкости) применяются в качестве ИВЭП небольшой мощности с токами нагрузки, не превышающими  $1,0$  А.

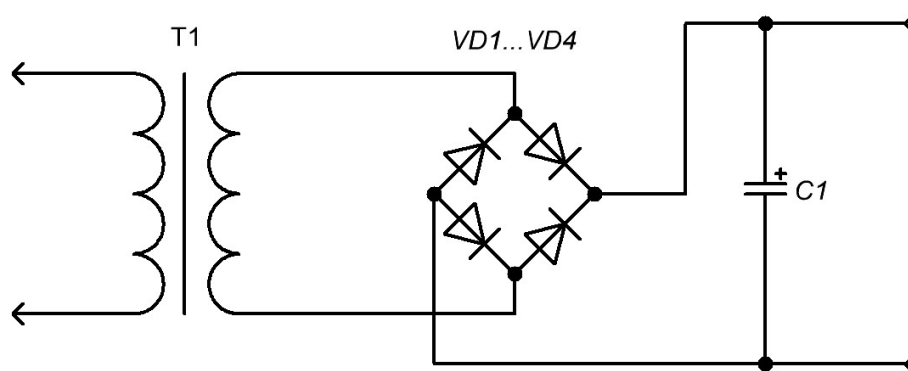


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная выпрямителя

Определение электрических параметров диодов и трансформатора производится по расчетным формулам таблицы 4.

Определение основных параметров и выбор диодов производится в

следующей последовательности:

1. По расчетным формулам таблицы 4 в соответствии с выбранной схемой выпрямления определяются основные параметры:  $I_{пр.ср}$  – среднее значение прямого тока диода схемы, А;  $U_{обр.и.п}$  – повторяющееся импульсное обратное напряжение, прилагаемое к диоду схемы, В; и  $I_{пр.и.п.}$  – повторяющийся импульсный прямой ток диода схемы (приблизительно), А; после расчета выпрямителя значение  $I_{пр.и.п.}$  уточняется также с помощью таблицы 4.

2. По приложению Е подбирается тип диода, параметры которого  $I_{пр.срmax}$ ,  $U_{обр.и.пmax}$ ,  $I_{пр.и.пmax}$  превышает определенные выше соответствующие параметры схемы. При отсутствии таких диодов можно использовать имеющиеся, применив параллельное или последовательное соединение их; при этом число соединяемых параллельно диодов определяется из соотношения:

$$N_{пар} = \frac{I_{пр.ср}}{I_{пр.срmax}} \quad (2.2.1)$$

а число последовательно соединенных диодов

$$N_{посл} = \frac{U_{обр.и}}{U_{обр.иmax}} \quad (2.2.2)$$

Общее число вентилях, используемых в выпрямителе, определяется соотношением

$$N_{общ} = k_B N_{пар} N_{посл}, \quad (2.2.3)$$

где  $k_B$  – число вентиляхных элементов в выбранной схеме выпрямления (в однополупериодной  $k_B=1$ ; в двухполупериодной  $k_B=2$ , в мостовой  $k_B=4$ ).

Необходимо отметить, что при последовательном соединении вентилях для устранения разброса по обратным напряжениям диода шунтируются резисторы  $R_{ш}$ , значение которых определяется мощностью шунтируемых диодов. В случае маломощных диодов ( $I_{пр.срmax} \leq 0,3$  А)  $R_{ш}$  надо брать из расчета 80...100 кОм на каждые 100 В обратного напряжения, а для мощных диодов ( $I_{пр.срmax} \geq 5$  А) – из расчета 10...15 кОм на каждые 100 В обратного напряжения; для диодов средней мощности  $R_{ш} = 15...100$  кОм.

После выбора типа диода и определения (в случае необходимости) числа  $N_{посл}$  из приложения Е выписывают следующие параметры диода:

$I_{пр.срmax}$  – максимально допустимое среднее значение прямого тока, А;

$U_{обр.и.пmax}$  – максимально допустимое импульсное обратное напряжение, В;

$U_{пр.ср}$  – среднее прямое напряжение (падение напряжения в прямом направлении), В.

Кроме того, записывается число последовательно соединенных диодов  $N_{посл}$ .

**Таблица 4 – Формулы расчета выпрямителя с емкостной нагрузкой**

Схема выпрямления	m	$I_{пр.ср}$	$U_{обр.и.п.}$	$I_{пр.и.п.}$		$K_{рс}$	$r_0$	$K_L \times 10^{-3}$	$U_2$	$I_2$	$I_1$	$P_r$
				прибли-зительно	уточ-ненное							
Однофазная однополу-периодная	1	$I_0$	$3U_0$	$7I_0$	$I_0 F$	2,3	$r_{диф}+r_{тр}$	4,1	$BU_0$	$DI_0$	$n_{21}^{**} \sqrt{I_2^2 - I_0^2}$	$2 P_o$
Однофазная двухполу-периодная	2	$\frac{I_0}{2}$	$3U_0$	$3,5I_0$	$\frac{I_0 F}{2}$	4,7	$r_{диф}+r_{тр}$	4,3	$BU_0$	$D \frac{I_0}{2}$	$n_{21} I_2 \sqrt{2}$	$1,8 P_o$
Однофазная мостовая	2	$\frac{I_0}{2}$	$1,5U_0$	$3,5I_0$	$\frac{I_0 F}{2}$	3,5	$2r_{диф}+r_{тр}$	5,0	$BU_0$	$D \frac{I_0}{\sqrt{2}}$	$n_{21} I_2$	$1,5 P_o$
Схема удвоения напряжения	1*	$I_0$	$1,5U_0$	$7I_0$	$I_0 F$	0,9	$r_{диф}+r_{тр}$	1,25	$B \frac{U_0}{2}$	$DI_0 \sqrt{2}$	$n_{21} I_2$	$1,5 P_o$
Трехфазная однополу-периодная	3	$\frac{I_0}{3}$	$3U_0$	$2,3I_0$	$\frac{I_0 F}{3}$	6,9	$r_{диф}+r_{тр}$	4,1	$BU_0$	$D \frac{I_0}{3}$	$n_{21} I_2 \frac{\sqrt{6}}{3}$	$2 P_o$
Трехфазная мостовая ***	6	$\frac{I_0}{3}$	$1,5U_0$	$1,15I_0$	$\frac{I_0 F}{6}$	4,5	$2r_{диф}+r_{тр}$	1,9	$B \frac{U_0}{\sqrt{3}}$	$D \frac{I_0}{3}$	$n_{21} I_2$	$1,2 P_o$

\* При расчете сглаживающего фильтра типа LC, RC или транзисторного значение m для этой схемы следует принимать равным 2.

$$** \quad n_{21} = \frac{U_2}{U_1}$$

\*\*\* Вторичные обмотки трансформаторов схемы соединяются в звезду.

Электрический расчет выпрямителя позволяет получить основные данные для расчета трансформатора и сглаживающего фильтра; расчет проводится в следующем порядке:

1. Определение активного сопротивления обмоток трансформатора, Ом, приведенного к вторичной обмотке:

$$r_{TP} = K_{рс} \frac{U_0}{I_0 f B} \sqrt[4]{\frac{\sigma f B}{U_0 I_0}}, \quad (2.2.4)$$

где  $K_{рс}$  – коэффициент, зависящий от схемы выпрямления, определяется из таблицы 4;

$B$  – магнитная индукция в магнитопроводе трансформатора, Тл; для трансформаторов, мощность которых не превышает 1000 Вт, при частоте  $f=50$  Гц индукция  $B = 1,2 - 1,6$  Тл;

$\sigma$  – число стержней магнитопровода, несущих обмотки. Для магнитопроводов типа ШЛ и ОЛ  $\sigma=1$ ; для магнитопроводов типа ПЛ с обмотками на обоих стержнях  $\sigma=2$ .

2. Определение дифференциального (внутреннего) сопротивления вентилей (одного плеча схемы)  $r_{диф}$  производится по формуле

$$r_{диф} \approx N_{носл} \frac{U_{np}}{3 I_{np.ср}}, \quad (2.2.5)$$

3. Определение активного сопротивления фазы выпрямителя  $r_0$  производится по таблице 4 в соответствии с выбранной схемой выпрямления и известными

значениями  $r_{\text{тр}}$  и  $r_{\text{диф}}$ .

4. Определение индуктивности рассеяния обмоток трансформатора, приведенной к вторичной обмотке трансформатора (с учетом, что намотка производится обычным способом), проводится по выражению

$$L_s \approx 0,5 K_L \sigma \frac{U_0}{I_0 f B^4 \sqrt{\frac{\sigma f B}{U_0 I_0}}} \quad (2.2.6)$$

причем коэффициент 0,5 соответствует  $\sigma=2$  (вторичная обмотка расположена на двух стержнях). Если  $\sigma=1$ , то коэффициент в (2.2.6) равен 1.

5. Определение соотношения между активным и реактивным сопротивлениями фазы выпрямителя производится по выражению

$$\operatorname{tg} \varphi = 2\pi f \frac{L_s}{r_0} \quad (2.2.7)$$

По полученному значению  $\operatorname{tg} \varphi$  находим соответствующий угол  $\varphi$ .

6. Определение вспомогательного коэффициента  $A$  по формуле

$$A = \frac{I_0 \pi r_0}{m U_0}, \quad (2.2.8)$$

где  $m$  – коэффициент схемы, равный числу импульсов выпрямленного напряжения (см. таблицу 4).

7. Определение расчетных коэффициентов  $B$ ,  $D$ ,  $F$  и  $H$  по найденному значению коэффициента  $A$  производится с помощью графиков [1] или ниже приведенных формул

$$B(A) \approx 0,7 + 0,35\sqrt{A} + 0,62A \quad (2.2.9)$$

$$D(A) \approx 2 - \frac{5,6 \cdot 10^{-7}}{A^2} + \frac{9,2 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{A^3}} - \frac{5,6 \cdot 10^{-3}}{A} + \frac{0,2}{\sqrt{A}} - 0,5\sqrt{A} + 0,17A \quad (2.2.10)$$

$$F(A) \approx 2,8 - \frac{3 \cdot 10^{-5}}{A^2} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{A^3}} - \frac{0,06}{A} + \frac{1,7}{\sqrt{A}} - 0,3\sqrt{A} + 0,1A \quad (2.2.11)$$

$$H(A) = \begin{cases} 61\sqrt{A} + 1814A - 612\sqrt{A^3}, & \text{при } m = 2 \\ 146\sqrt{A} + 1211A - 805\sqrt{A^3}, & \text{при } m = 3 \\ 163\sqrt{A} + 159A - 859\sqrt{A^3}, & \text{при } m = 6 \end{cases} \quad (2.2.12)$$

8. Определение уточненного значения  $I_{\text{пр.и.п}}$  производится по таблице 4. Если полученное значение  $I_{\text{пр.и.п}}$  окажется больше  $I_{\text{пр.и.мах}}$  выбранного диода, необходимо подобрать диод с большим значением тока  $I_{\text{пр.и.мах}}$ .

9. Определение электрических параметров трансформаторов (габаритной мощности, напряжений и токов в обмотках) производится по таблице 4. По этим параметрам будет рассчитываться трансформатор.

10. Определение емкости входного конденсатора фильтра, мкФ, производится по формуле:

$$C_1 = \frac{100 H}{K_{\Pi\%} r_0}, \quad (2.2.13)$$

где  $K_{\Pi\%}$  – коэффициент пульсации выпрямленного напряжения на входе фильтра, начинающегося с конденсатора  $C_1$ ; обычно  $K_{\Pi}$  выбирают в пределах 5...15%.

Коэффициент  $m$  соответствует выбранной схеме выпрямления (таблица 4), за исключением схемы удвоения, для которой в этом случае  $H$  следует определить по графику [1].

Полученное по (2.2.13) значение  $C_1$  округляют до ближайшего (большого) стандартного.

После выбора  $C_1$  определяется соответствующий  $K_{\Pi\%}$  по формуле

$$K_{\Pi\%} = \frac{100 H}{r_0 C_1} \quad (2.2.14)$$

Определением  $K_{\Pi\%}$  заканчивается электрический расчет выпрямителя. Полученное значение  $K_{\Pi\%}$  потребуется для расчета оставшейся части фильтра, которая дополняет (при необходимости) конденсатор  $C_1$ .

### 2.3 Расчет полупроводникового стабилизатора

Для получения более постоянного напряжения на нагрузке при изменении потребляемого тока к выходу выпрямителя подключают стабилизатор, который может быть выполнен по схеме, приведенной на рисунке 3.

В таком устройстве работают стабилитрон VD и регулирующий транзистор VT. Расчет позволяет выбрать все элементы стабилизатора, исходя из заданного выходного напряжения  $U_0$  и максимального тока нагрузки  $I_0$ . Расчет стабилизатора ведут в следующем порядке.

1. Определение максимально рассеиваемой транзистором мощности:

$$P_{\text{max}} = 1,3 (U_2 - U_{0\text{min}}) I_0, \quad (2.3.1)$$

где  $U_{0\text{min}}$  – минимальное напряжение, которое выдает блок питания.

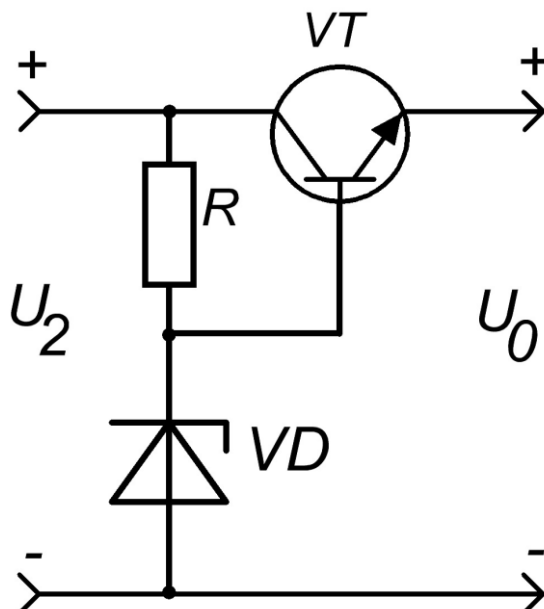


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная параметрического стабилизатора

## 2. Выбор регулирующего транзистора.

Его предельно допустимая рассеиваемая мощность должна быть больше значения  $P_{\max}$ , предельно допустимое напряжение между эмиттером и коллектором - больше  $U_2$ , а максимально допустимый ток коллектора - больше  $I_0$ .

## 3. Определение максимального тока базы регулирующего транзистора:

$$I_{\delta.\max} = \frac{I_0}{h_{21\ominus\min}}, \quad (2.3.2)$$

где  $h_{21\ominus\min}$  – минимальный коэффициент передачи тока выбранного транзистора (Приложение Ж), если там указаны пределы этого параметра, то берется меньший.

## 4. Выбор подходящего стабилитрона.

Его следует проводить по двум параметрам: напряжению стабилизации и току стабилизации. Напряжение стабилизации должно быть равно выходному напряжению блока питания  $U_0$ , а значение максимального тока стабилизации должно быть не менее максимального тока базы  $I_{\delta.\max}$  (Приложение К).

## 5. Определение сопротивления резистора R:

$$R = \frac{U_2 - U_{CT}}{I_{\delta.\max} + I_{CT\min}}, \quad (2.3.3)$$

где R – сопротивление резистора R, Ом;

$U_{CT}$  – напряжение стабилизации стабилитрона, В;

$I_{\delta.\max}$  – вычисленное значение максимального тока базы транзистора, А;

$I_{CT\min}$  – минимальный ток стабилизации для данного стабилитрона, указанный в справочнике, А.

## 6. Определение мощности рассеяния резистора R:

$$P_R = \frac{(U_2 - U_{CT})^2}{R} \quad (2.3.4)$$

7. Выбор по справочнику типа резистора R.

8. Расчёт коэффициента стабилизации  $K_{CT}$  стабилизатора напряжения

$$K_{CT} \approx \frac{R U_0}{r_{CT} U_2}, \quad (2.3.5)$$

где  $r_{CT}$  – дифференциальное сопротивление стабилитрона.

9. Расчёт выходного сопротивления стабилизатора напряжения:

$$R_{ВЫХ} \approx \frac{r_{CT} + h_{21Э}}{h_{21Э}} = \frac{r_{CT}}{h_{21Э}} + 1 \quad (2.3.6)$$

Может случиться, что маломощный стабилитрон не подойдет по максимальному току стабилизации и придется выбирать стабилитрон значительно большей мощности. Такое случается при больших токах потребления и использовании транзистора с малым коэффициентом  $h_{21Э}$ . В таком случае целесообразно ввести в стабилизатор дополнительный транзистор VT2, малой мощности (рисунок 4), который позволит снизить максимальный ток нагрузки для стабилитрона, а значит и ток стабилизации примерно в  $h_{21Э2}$  раз и применить, соответственно, маломощный стабилитрон.

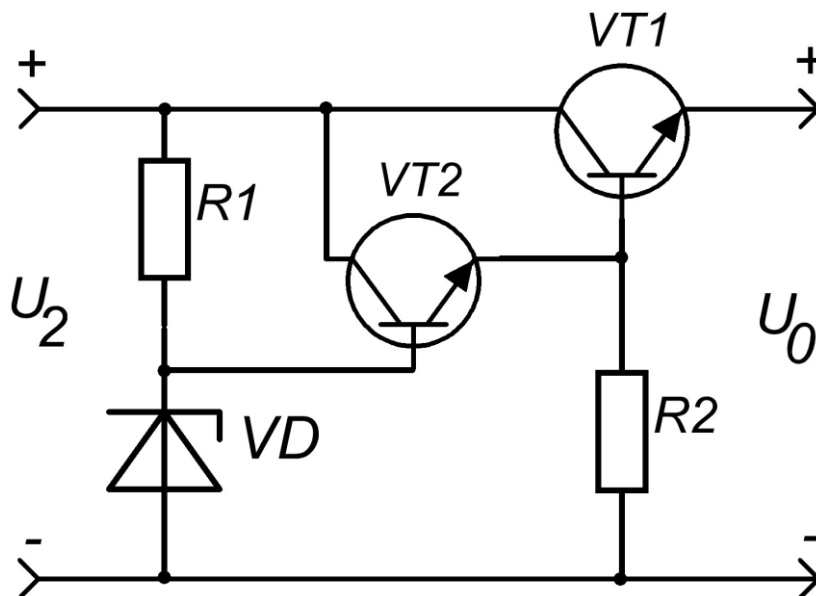


Рисунок 4 – Схема электрическая принципиальная параметрического стабилизатора с дополнительным транзистором

Кроме вышеупомянутого параметрического стабилизатора, можно использовать компенсационный стабилизатор, который состоит из следующих основных узлов: VT1 – регулирующий транзистор, VT2 – усилительный транзистор,

схема сравнения: делитель  $R3...R5$  и источник опорного напряжения, который включает стабилитрон  $VD$  и резистор  $R2$ .

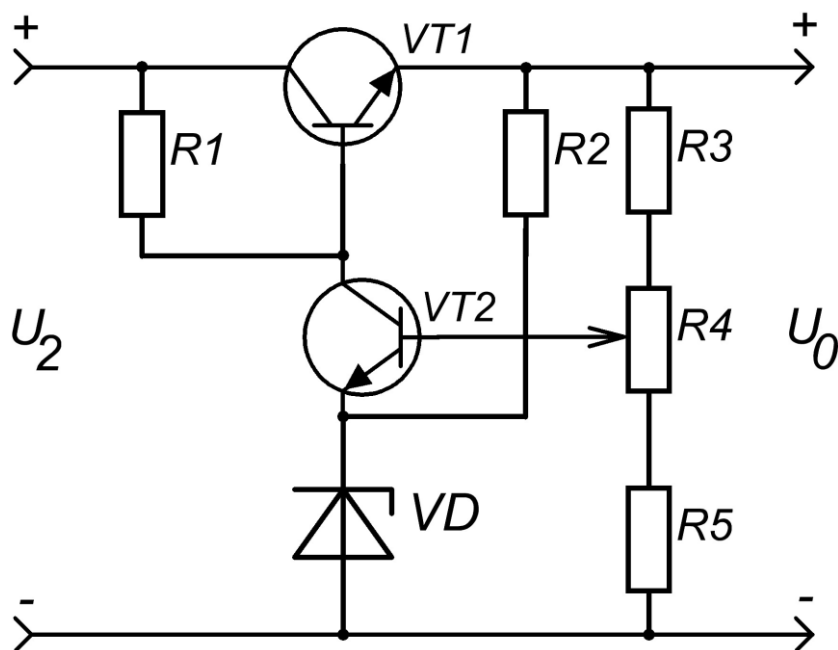


Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная компенсационного стабилизатора

Порядок расчета компенсационного стабилизатора следующий.

1 Определение параметров и выбор регулирующего транзистора.

1.1 Максимальные напряжения коллектор-эмиттер  $VT1$  найдем из выражений:

$$U_{KЭ1max} = U_{2max} - U_{0min} \quad (2.3.7)$$

$$U_{KЭ1imp} = U_{2max} \quad (2.3.8)$$

1.2 Максимальный ток коллектора с достаточной точностью будет равен максимальному току нагрузки:

$$I_{K1max} = I_{0max} \quad (2.3.9)$$

1.3 Максимальная мощность, рассеиваемая на транзисторе:

$$P_{K1max} = U_{KЭ1max} \cdot I_{K1max} \quad (2.3.10)$$

1.4 Выбор транзистора.

По полученным выше данным, пользуясь справочной литературой или приложением Ж, выбираем транзистор  $VT1$  ( $h_{21Э1}$  – желательно выбирать с большим значением, чтобы получить более высокий коэффициент стабилизации и снизить

мощность, потребляемую по цепям управления и, следовательно, увеличить КПД устройства).

Примечание. Все параметры выбранного транзистора должны быть не менее рассчитанных. Для увеличения надежности работы стабилизатора желательно, чтобы максимально допустимые параметры выбранного транзистора были в 1,5–3 раза больше рассчитанных значений. Выбор транзистора значительно большей мощности, чем необходимо, приводит к увеличению габаритов и стоимости стабилизатора, а так же более мощные транзисторы имеют, как правило, меньший коэффициент усиления, что в итоге приведет к уменьшению коэффициента стабилизации и КПД всего устройства в целом, а также увеличит стоимость стабилизатора.

## 2 Расчет резистора R1.

### 2.1 Расчет и определение номинала резистора R1:

$$R1_{\text{РАСЧ}} = \frac{U_{2\text{min}} - U_{0\text{max}} - 0,6}{I_{\text{Б1max}}} \quad (2.3.11)$$

$$I_{\text{Б1max}} = \frac{I_{\text{К1max}}}{h_{21Э1} + 1}, \quad (2.3.12)$$

где  $h_{21Э1}$  – берется минимальное значение для выбранного транзистора.

По полученному значению  $R1_{\text{РАСЧ}}$ , из ряда E12 или E24 выбираем ближайшее меньшее значение номинала резистора R1.

### 2.2 Расчет максимальной мощности рассеяния резистора R1:

$$P_{R1\text{max}} = \frac{(U_{2\text{max}} - U_{0\text{min}} - 0,6)^2}{R1} \quad (2.3.13)$$

По полученному значению  $P_{R1\text{max}}$  выбираем ближайшее большее значение мощности резистора из стандартного ряда: 0,065Вт, 0,125Вт, 0,25Вт, 0,5Вт, 1Вт, 2Вт, 5Вт.

## 3 Определение параметров и выбор стабилитрона.

### 3.1 Расчет рабочего напряжения стабилитрона:

$$U_{\text{СТmax}} = U_{0\text{min}} - 2 \quad (2.3.14)$$

### 3.2 Расчет максимального тока стабилитрона:

$$I_{\text{СТmax}} = \frac{U_{2\text{max}} - U_{\text{СТmin}}}{R1} \quad (2.3.15)$$

### 3.3 Выбор стабилитрона.

По приложению К выбираем подходящий стабилитрон VD, удовлетворяющий полученным значениям напряжения стабилизации и с

максимальным током стабилизации не менее рассчитанного (2.3.15).

### 3.4 Расчет резистора R2:

$$R2_{\text{расч}} = \frac{U_{0\text{min}} - U_{\text{VDmax}}}{I_{\text{VDmin}}} \quad (2.3.16)$$

Используя полученное значение  $R2_{\text{расч}}$ , из ряда E12 или E24 выбираем ближайшее меньшее значение номинала резистора R2.

Примечание. Расчет мощности рассеяния резистора R2 не производится, поскольку  $I_{\text{VD min}}$  у большинства маломощных стабилитронов не превышает 5мА и мощность рассеяния этого резистора будет не более минимальной мощности выпускаемых резисторов (0,065 Вт).

### 3.5 Определение параметров и выбор транзистора VT2.

3.5.1 Максимальное напряжение коллектор-эмиттер определяется по формуле:

$$U_{\text{КЭ2 max}} = U_{0\text{max}} + 0,6 - U_{\text{VDmin}} \quad (2.3.17)$$

### 3.5.2 Определение максимального рабочего тока:

$$I_{\text{К2 max}} = I_{\text{СТ max}} \quad (2.3.18)$$

### 3.5.3 Расчет максимальной рассеиваемой мощности транзистора VT2:

$$P_{\text{К2 max}} = U_{\text{КЭ2 max}} \cdot I_{\text{К2 max}} \quad (2.3.19)$$

### 3.5.4 Выбор транзистора.

По полученным выше данным и, пользуясь приложением Ж, выбираем транзистор VT2 ( $h_{21Э2}$  – желательно выбирать с большим значением, чтобы получить большой коэффициент стабилизации).

### 3.6 Расчет делителя.

Расчет производится с учетом технологического разброса параметров стабилитронов и необходимого диапазона установки выходных напряжений.

### 3.6.1 Расчет тока делителя:

$$I_{\text{ДЕЛ}} = 5 \cdot I_{\text{Б2 max}} \quad (2.3.20)$$

$$I_{\text{Б2 max}} = \frac{I_{\text{К2 max}}}{h_{21Э1} + 1} \quad (2.3.21)$$

### 3.6.2 Расчет резистора R5:

$$R5_{\text{РАСЧ}} = \frac{U_{\text{VDmin}}}{I_{\text{ДЕЛ}}} \quad (2.3.22)$$

По рассчитанному значению  $R5_{\text{расч}}$ , из ряда E12 или E24 выбираем ближайшее меньшее значение номинала резистора.

### 3.6.3 Расчет резистора R3:

$$R3_{\text{РАСЧ}} = \frac{U_{0\text{min}} - 0,6 - U_{\text{VDmax}}}{I_{\text{ДЕЛ}}} \quad (2.3.23)$$

По рассчитанному значению  $R3_{\text{расч}}$ , из ряда E12 или E24 выбираем ближайшее меньшее значение номинала резистора.

### 3.6.4 Расчет резистора R4:

$$R4_{\text{РАСЧ}} = \frac{U_{0\text{max}}}{I_{\text{ДЕЛ}}} - R3 - R5 \quad (2.3.24)$$

По рассчитанному значению  $R4_{\text{расч}}$ , из ряда E12 или E24 выбираем ближайшее большее значение номинала резистора R4, чтобы диапазон подстройки выходного напряжения был не меньше расчетного.

### 3.7 Расчет коэффициента стабилизации:

$$K_{\text{СТ}} = U_{\text{ВДСРЕДН}} \cdot \frac{R1}{U_{2\text{max}}} \cdot (R_{\text{VD}} + R_{\text{Э2}}) \cdot \left(1 + \frac{1}{h_{21Э1}}\right) \quad (2.3.25)$$

Примечание. Из приведенных выражений видно, что:

а) при увеличении  $h_{21Э1}$  регулирующего транзистора растет R1 и  $K_{\text{СТ}}$  увеличивается;

б) при уменьшении дифференциального сопротивления стабилитрона ( $R_{\text{VD}}$ )  $K_{\text{СТ}}$  увеличивается.

Для получения большего значения  $K_{\text{СТ}}$  необходимо выбирать регулирующий транзистор с большим коэффициентом усиления, а стабилитрон надо брать с наименьшим дифференциальным сопротивлением.

При правильном расчете и выборе радиокомпонентов  $K_{\text{СТ}}$  должен получиться не менее заданного в исходных данных.

В настоящее время выпускается широкая номенклатура компенсационных стабилизаторов напряжения непрерывного действия в интегральном исполнении.

Интегральные стабилизаторы функционально являются практически законченными устройствами. Поэтому расчет стабилизаторов напряжения на их основе сводится к выбору микросхемы с параметрами, удовлетворяющими исходным данным, и проверке ее электрического режима на соответствие техническим условиям. Применение универсальных интегральных стабилизаторов напряжения требует также определение величин сопротивлений делителя, обеспечивающих заданное выходное напряжение.

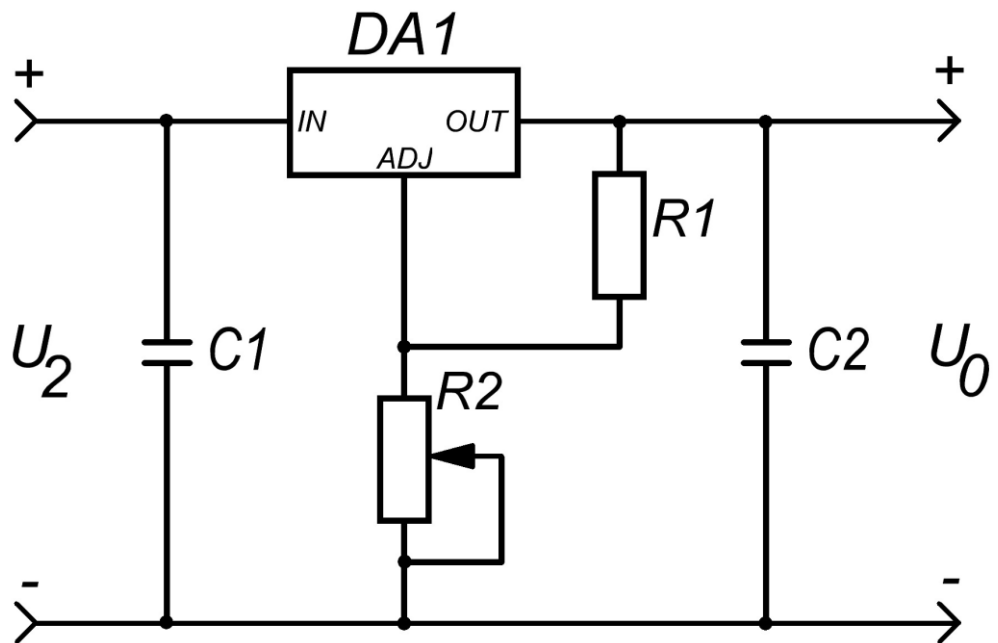


Рисунок 6 – Схема электрическая принципиальная компенсационного стабилизатора на ИМС

Исходными данными для расчета являются: выходное напряжение  $U_0$ , выпрямленный ток в нагрузке  $I_0$  и коэффициент стабилизации  $K_{ст}$ .

Входное напряжение для интегрального стабилизатора должно быть минимум на 2 В больше выходного.

#### 1. Определение напряжения на интегральном стабилизаторе (ИС).

В режиме холостого хода, т.е., когда нагрузка на выходе блока питания отсутствует, напряжение  $U_{вх} = U_2$ , т.е. амплитудному напряжению, которое будет на конденсаторе  $C_1$ . При работе блока питания на нагрузку, напряжение  $U_{вх}$  будет меньше на величину падения напряжения на диодах выпрямителя  $U_{\Delta D}$ . Для однофазной мостовой схемы выпрямителя это напряжение будет равно

$$U_{\Delta D} = 2U_{ПР.СР} \quad (2.3.26)$$

Следовательно,

$$U_{ВХ} = U_2 - U_{\Delta D} \quad (2.3.27)$$

#### 2. Определение рассеиваемой на ИС мощности:

$$P_0 = (U_{ВХ} - U_0)I_0 \quad (2.3.28)$$

Сравниваем это значение с предельной рассеиваемой мощностью ИС, заявленной производителем и в случае, когда полученное значение превышает ее выбираем площадь необходимого радиатора.

#### 3. Расчет значений резисторов $R_1$ и $R_2$ .

Из технической документации выбираем значение  $R_1$ . Значение  $R_2$

рассчитываем по формуле:

$$U_0 = U_{\text{оп}} \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{\text{оп}} R_2, \quad (2.3.29)$$

где  $U_{\text{оп}}$  – внутреннее опорное напряжение микросхемы;

$R_1, R_2$  – сопротивления цепи делителя;

$I_{\text{оп}}$  – управляющий ток, текущий через резистор  $R_1$ .

Так как управляющий ток очень мал – порядка 0,005 А, то на результат он практически не влияет. Поэтому формулу можно упростить:

$$U_0 = U_{\text{оп}} \cdot \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (2.3.30)$$

Отсюда получаем, что  $R_2$  равно:

$$R_2 = \frac{R_1(U_0 - U_{\text{оп}})}{U_{\text{оп}}} = \frac{R_1 \cdot U_0}{U_{\text{оп}}} - R_1 \quad (2.3.31)$$

Значение  $R_2$  определяют при требуемом минимальном и максимальном значении выходного напряжения.

## **3 Экспериментальная часть**

### **3.1 Описание конструкции изделия**

Описание конструкции изделия выполняется в следующей последовательности:

- 1) описание конструкции всего устройства;
- 2) описание конструкции сборочных узлов;
- 3) описание конструкции деталей;
- 4) описание конструкции соединений.

Вначале производится описание внешнего вида изделия, формы габаритов корпуса, лицевой панели, органов контроля и управления, элементов крепления. Затем описывается внутренняя компоновка. При этом основное внимание обращается на печатную плату, используемый диэлектрик в качестве основания печатной платы, способы создания токопроводящего слоя, формирования рисунка печатных плат, установки новейших элементов на печатные платы, пайки ЭРЭ и ее особенностей. При описании конструкции необходимо обращать внимание на реализацию комплекса требований безопасности и технических требований, включая эксплуатационные требования такие, как оперативность и удобство обслуживания, его безопасность, срок службы, приспособленность к длительному хранению, механическую жесткость.

### **3.2 Проверка работоспособности и измерение характеристик**

Проверка работоспособности производится при номинальном напряжении питания и номинальных значениях входных и выходных сигналов. При этом проверяется достижение заданных технических характеристик блока питания. В пояснительной записке приводится структурная схема экспериментальной установки с изображением необходимой контрольно-измерительной аппаратуры и алгоритм диагностики блока питания.

## **Заключение**

В заключении подводятся общие итоги выполненной работы, ее оценка по сравнению с современными схемотехническими решениями и технологиями, делаются выводы о достижении заданных в техническом задании параметров.

## **Список использованных источников**

- [1] **Гейтенко, Е.Н.** Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет. Учебное пособие / Е. Н. Гейтенко. М., 2008.
- [2] **Голубев, П.В.** Проектирование статических преобразователей / П.В. Голубев, В.М. Карпенко [и др.]. М., 1974.
- [3] **Грумбина, А.Б.** Электрические машины и источники питания радиоэлектронных устройств / А.Б. Грумбина. М., 1990.
- [4] **Источники** электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / под ред. Г.С. Найвельта. М., 1985.
- [5] **Фрумкин, Г.Д.** Расчет и конструирование радиоаппаратуры / Г.Д. Фрумкин. М., 1989.

## Приложение А

### Форма титульного листа для курсового проекта

Министерство образования Республики Беларусь

Филиал Учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет» Политехнический колледж

Радиотехническое отделение

16

16

24ж

## КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

18

по учебной дисциплине «Теоретические основы электротехники»

Тема: «Блок питания с гасящим конденсатором с выходным  
напряжением 3В»

18

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
ТУПК. 390232. Р47 КП ПЗ

18

14

Проект защищен с отметкой

(отметка)

(подпись)

Руководитель проекта  
М.О. Храпунова

14

Выполнил уч-ся гр. Р47 курс 2  
А.О. Березуцкая

## Приложение Б

### Формы основных надписей для УКД

[illegible]

**Рисунок Б.1 – Основная надпись для чертежей и схем в соответствии с  
ГОСТ 2.104–2006**

[illegible]

**Рисунок Б.2 – Основная надпись для текстовых конструкторских документов  
(первый или заглавный лист) в соответствии с ГОСТ 2.104–2006**

Technical drawing of a drawing frame with dimensions and a table.

Dimensions (mm):

- Overall width: 185
- Overall height: 15
- Left margin: 5
- Top margin: 5
- Right margin: 10
- Bottom margin: 8
- Internal width segments: 7, 10, 23, 15, 10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист

**Рисунок Б.3 – Основная надпись для чертежей (схем) и текстовых документов (последующие листы) в соответствии с ГОСТ 2.104–2006**

**Приложение В**  
**Форма таблицы для составления перечня элементов в соответствии**  
**с ГОСТ 2.701–2008**

15	<i>Поз. обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Примечание</i>	8 min
	20	110	10		
	185				

## Приложение Г

### Типовые магнитопроводы

**Таблица Г.1 – Тип Ш. Броневые магнитопроводы из штампованных пластин**

Обозначение	Размеры, мм						Площадь сечения стержня $S_C$ , см <sup>2</sup>	Средняя длина магнитной силовой линии $l_C$ , см	$S_C S_O$ , см <sup>4</sup>
	a	c	h	B	L	b			
Ш 9x9	9	9	22,5	31,5	36	9,0	0,740	7,72	1,620
Ш 9x12						12,0	0,980		2,160
Ш 12x10	12	12	30,0	42,0	48	10,0	1,090	10,00	4,300
Ш 12x12						12,0	0,310		5,200
Ш 12xI6						16,0	1,750		6,800
Ш 12x20						20,0	2,180		8,600
Ш 12x25						25,0	2,730		10,800
Ш 12x32						32,0	3,490		13,700
Ш 16x10	16	16	40,0	56,0	64	10,0	1,310	13,70	10,200
Ш 16x12						12,0	1,750		12,100
Ш 16xI6						16,0	2,330		16,600
Ш 16x20						20,0	2,910		20,500
Ш 16x25						25,0	3,640		25,600
Ш 16x32						32,0	4,660		32,600
Ш 16x40						40,0	5,820		41,000
Ш 20x12	20	20	50,0	70,0	80	12,0	2,180	17,14	24,000
Ш 20xI6						16,0	2,910		32,000
Ш 20x20						20,0	3,640		40,000
Ш 20x25						25,0	4,550		50,000
Ш 20x32						32,0	5,820		64,000
Ш 20x40						40,0	7,280		80,000
Ш 20x12						50,0	9,100		100,000

**Таблица Г.2 – Тип ШЛ. Броневые ленточные магнитопроводы**

Обозначение	Размеры, мм						Площадь сечения стержня $S_C$ , см <sup>2</sup>	Средняя длина магнитной силовой линии $l_C$ , см	$S_C S_O$ , см <sup>4</sup>
	a	C	h	B	L	b			
ШЛ 5x5	5	5	12,0	17,0	20	5,0	0,208	4,20	0,150
ШЛ 5x6,5						6,5	0,270		0,195
ШЛ 5x8						8,0	0,332		0,240
ШЛ 5x10						10,0	0,410		0,300
ШЛ 6x6,5	6	6	15,0	21,0	24	6,5	0,320	5,10	0,140
ШЛ 6x8						8,0	0,400		0,173
ШЛ 6x10						10,0	0,500		0,216
ШЛ 6x12,5						12,5	0,620		0,270
ШЛ 8x8	8	8	20,0	28,0	32	8,0	0,530	6,80	0,410
ШЛ 8x10						10,0	0,670		0,510
ШЛ 8x12,5						12,5	0,830		0,640
ШЛ 8x16						16,0	1,060		0,820
ШЛ 10x10	10	10	25,0	35,0	40	10,0	0,840	8,50	2,500
ШЛ 10x12,5						12,5	1,060		3,120
ШЛ 10x16						16,0	1,350		4,000
ШЛ 10x20						20,0	1,690		5,000
ШЛ 12x12,5	12	12	30,0	42,0	48	12,5	1,280	10,20	5,400
ШЛ 12x16						16,0	1,640		6,900
ШЛ 12x20						20,0	2,050		8,700
ШЛ 12x20						25,0	2,560		10,800
ШЛ 16x16	16	16	40,0	56,0	64	16,0	2,200	13,60	16,600
ШЛ 16x20						20,0	2,750		20,500
ШЛ 16x25						25,0	3,440		25,600
ШЛ 16x32						32,0	4,400		32,600
ШЛ 20x20	20	20	50,0	70,0	80	20,0	3,470	17,10	40,000
ШЛ 20x25						25,0	4,340		50,000
ШЛ 20x32						32,0	5,560		64,000
ШЛ 20x40						40,0	6,950		80,000
ШЛ 25x25	25	25	62,5	87,5	100	25,0	5,440	21,30	116,500
ШЛ 25x32						32,0	6,950		148,000
ШЛ 25x40						40,0	8,690		184,000
ШЛ 25x50						50,0	10,900		233,000

## Приложение Д

**Таблица Д.1 – Основные данные обмоточных проводов**

Диаметр без изоляции, мм	Сечение меди, мм <sup>2</sup>	Сопротивление 1 м при 20 °С, Ом	Допустимая нагрузка при плотности тока 2 А/мм <sup>2</sup> , А	ПЭЛ, ПЭТ		ПЭЛШО	
				Диаметр с изоляцией, мм	Вес 100 м с изоляцией, г	Диаметр с изоляцией, мм	Вес 100 м с изоляцией, г
1	2	3	4	5	6	7	8
0,05	0,0020	9,290	0,0040	0,060	1,8	0,110	2,56
0,06	0,0030	6,440	0,0057	0,070	2,6	0,120	3,40
0,07	0,0040	4,730	0,0077	0,080	3,5	0,130	4,55
0,08	0,0050	3,630	0,0101	0,090	4,6	0,140	5,70
0,09	0,0060	2,860	0,0127	0,100	5,8	0,150	7,02
0,10	0,0080	2,230	0,0157	0,115	7,3	0,165	8,90
0,11	0,0100	1,850	0,0190	0,125	8,8	0,175	10,50
0,12	0,0110	1,550	0,0226	0,135	10,4	0,185	12,30
0,13	0,0130	0,320	0,0266	0,145	12,1	0,195	14,10
0,14	0,0150	1,140	0,0308	0,155	14,0	0,205	16,10
0,15	0,0180	0,990	0,0354	0,165	15,2	0,215	18,40
0,16	0,0200	0,873	0,0402	0,175	18,3	0,225	20,60
0,17	0,0230	0,773	0,0454	0,185	20,6	0,235	23,00
0,18	0,0260	0,688	0,0510	0,195	23,1	0,245	25,60
0,19	0,0280	0,618	0,0568	0,205	25,8	0,255	28,40
0,20	0,0310	0,558	0,0628	0,215	28,5	0,280	31,20
0,21	0,0350	0,507	0,0692	0,230	31,6	0,290	34,60
0,23	0,0420	0,423	0,0832	0,250	37,8	0,310	41,00
0,25	0,0490	0,357	0,0982	0,270	44,5	0,330	48,00
0,27	0,0570	0,306	0,1150	0,295	52,1	0,355	56,00
0,29	0,0660	0,266	0,1320	0,315	60,1	0,375	64,10
0,31	0,0760	0,233	0,1510	0,340	68,8	0,400	73,30
0,33	0,0860	0,205	0,1710	0,360	77,8	0,420	82,60
0,35	0,0960	0,182	0,1920	0,380	87,4	0,440	92,40
0,38	0,1130	0,155	0,2260	0,410	103,0	0,470	108,40
0,41	0,1320	0,133	0,2640	0,440	120,0	0,505	126,20
0,44	0,1520	0,115	0,3040	0,475	138,0	0,535	144,50
0,47	0,1740	0,101	0,3460	0,505	157,0	0,565	164,00
0,49	0,1890	0,093	0,3780	0,525	171,0	0,585	178,00
0,51	0,2040	0,086	0,4080	0,545	185,0	0,610	192,90
0,55	0,2380	0,074	0,4760	0,590	215,0	0,650	222,20
0,59	0,2730	0,064	0,5470	0,630	247,0	0,690	256,10

Окончание таблицы Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8
0,64	0,3220	0,055	0,6440	0,680	291,0	0,740	301,20
0,69	0,3740	0,047	0,7480	0,730	342,0	0,790	352,80
0,74	0,4300	0,041	0,8600	0,790	389,0	0,850	400,60
0,80	0,5030	0,035	1,0050	0,850	445,0	0,910	461,80
0,86	0,5809	0,03	1,1600	0,910	524,0	0,970	537,90
0,93	0,6790	0,026	1,3600	0,960	612,0	1,040	627,30
1,00	0,7850	0,022	1,5700	1,050	707,0	1,120	723,60
1,08	0,9161	0,019	1,8300	1,140	826,0	1,200	943,50
1,16	1,0568	0,0166	2,1140	1,220	922,0	1,280	970,90
1,20	1,1310	0,016	2,2600	1,260	1022,0	1,320	1038,0
1,25	1,2270	0,014	2,4500	1,310	1105,0	1,370	1125,0
1,35	1,4314	0,012	2,8600	1,410	1288,0	1,470	1309,0
1,45	1,6510	0,011	3,3000	1,510	1486,0	1,570	1508,0
1,56	1,9110	0,009	3,8220	1,620	1712,0	1,715	—
1,68	2,2170	0,008	4,4330	1,740	1992,0	1,835	—
1,81	2,5730	0,007	5,1460	1,870	2310,0	1,965	—
1,95	2,9870	0,006	5,9800	2,010	2680,0	2,106	—
2,02	3,2050	0,006	6,4090	2,080	2875,0	2,175	—
2,10	3,4640	0,005	6,9200	2,160	3110,0	2,255	—
2,26	4,0120	0,004	8,0230	2,320	3603,0	—	—
2,44	4,6760	0,004	9,3520	2,500	4210,0	—	—

Таблица Д.2 – Характеристика изоляции обмоточных проводов

Марка провода	Характеристика изоляции	Диаметр медной жилы, мм
ПЭЛ	Лакостойкая эмаль	0,03—2,44
ПЭТ	Эмалевая повышенной стойкости	0,10—5,20
ПЭЛШО	Лакостойкая эмаль (утолщенный слой) и один слой обмотки из натурального шелка	0,05—2,10

## Приложение Е

### Параметры диодов

**Таблица Е.1**

Тип прибора	Средний выпрямленный прямой ток $I_{пр.}$ , А	Максимальное обратное напряжение $U_{обр. макс.}$ , В	$f_p$ , кГц
Д10А	0,016	10	150
ГД107А	0,02	15	50
ГД402Б	0,03	15	50
Д104	0,03	100	150
КД401Б	0,03	75	150
Д206	0,1	100	1
Д207	0,1	200	1
Д208	0,1	300	1
КД102Б	0,1	300	4
КД103А	0,1	50	20
2Д237В	0,3	100	300
Д7Ж	0,3	400	2,4
КД105Г	0,3	800	4
КД106А	0,3	100	30
Д202	0,4	100	1,2
Д203	0,4	200	1,2
Д204	0,4	300	1,2
Д205	0,4	400	1,2
Д302	1	200	5
КД226Д	2	600	50
Д303	3	150	5
КД130АС	3	50	200
КД248В	3	800	100
Д245Б	5	300	1,1
Д304	5	100	5
КД202Ж	5	140	1,2
2Д231Б	10	200	200
В10	10	100...1000	1
Д214А	10	100	1,1
Д215А	10	200	1,1
Д245	10	300	1,1
Д305	10	50	5
КД203А	10	420	1
КД213В	10	200	100
2Д239А	20	100	500
КД2999А	20	250	100
В25	25	100...1000	1

**Таблица Е.2**

Тип	I пр.ср, А	I пр.и,А	Uобр., В	U пр., В
МД217	0,1	8	800	1,0
МД218	0,1	8	1000	1,0
МД218А	0,1	8	1200	1,1
МД226	0,3	2,5	300	1,0
МД226А	0,3	2,5	200	1,0
МД226Е	0,3	2,5	150	1,0
Д237А	0,3	5	200	1,0
Д237Б	0,3	5	400	1,0
Д237В	0,1	5	600	1,0
Д237Е	0,4	5	200	1,0
Д237Ж	0,4	5	400	1,0
Д242	10	30	100	1,25
Д242А	10	30	100	1,0
Д242Б	5	15	100	1,5
Д243	10	30	200	1,25
Д243А	10	30	200	1,0
Д243Б	5	15	200	1,5
Д245	10	30	300	1,25
Д245А	10	30	300	1,0
Д245Б	5	15	300	1,5
Д246	10	30	400	1,25
Д246А	10	30	400	1,0
Д246Б	5	15	400	1,5
Д247	10	30	500	1,25
Д247Б	10	30	500	1,5
Д248Б	5	15	600	1,5
КД102А	0,1	2	250	1,0
КД102Б	0,1	2	300	1,0
КД105Б	0,3	15	400	1,0
КД105В	0,3	15	600	1,0
КД105Г	0,3	15	800	1,0
КД202А	5	9	50	0,9
КД202В	5	9	100	0,9
КД202Д	5	9	200	0,9
КД202Ж	5	9	300	0,9
КД202К	5	9	400	0,9
КД202М	5	9	500	0,9
КД202Р	5	9	600	0,9
КД208А	1,5	6	100	1,0
КД209А	0,7	6	400	1,0
КД209Б	0,5	6	600	1,0
КД209В	0,5	6	800	1,0

## Приложение Ж

### Параметры транзисторов

Таблица Ж.1

Тип	$I_{К.МАХ}, А$	$U_{К.Э.МАХ}, В$	$P_{К.МАХ}, Вт$	$h_{21Э}$	$f, МГц$	$U_{НАС}, В$	Тип
1	2	3	4	5	6	7	8
КТ203Б	0,01	30	0,15	30...150	5	1	p-n-p
ПЗ07Б	0,015	80	0,25	50...150	20	0,5	n-p-n
КТ206А	0,02	20	0,015	20...90	10	0,5	n-p-n
МП101	0,02	20	0,15	10...25	0,5	0,5	n-p-n
КТ3126А	0,02	20	0,15	25...150	0,6	0,5	p-n-p
КТ3127А	0,02	20	0,1	25...150	0,6	0,5	p-n-p
КТС3103А	0,02	15	0,3	40...200	600	0,6	n-p-n
ГТ109Д	0,02	6	0,03	20...70	3	0,5	p-n-p
КТ201Г	0,03	10	0,15	70...210	10	0,5	n-p-n
КТ312В	0,03	20	0,22	50...280	120	0,8	n-p-n
КТ601А	0,03	100	0,5	16	40	0,3	n-p-n
КТ306А	0,03	10	0,15	20...60	300	0,3	n-p-n
КТ312А	0,03	20	0,22	10...100	80	0,8	n-p-n
КТ315Ж	0,05	15	0,1	30...250	150	0,5	n-p-n
КТ315И	0,05	60	0,1	30	250	0,9	n-p-n
КТ340А	0,05	15	0,15	100...150	300	0,2	n-p-n
КТ342А	0,05	10	0,25	100...1000	300	0,1	n-p-n
ГТ108Б	0,05	15	0,075	60...130	1	0,5	p-n-p
КТ104Б	0,05	15	0,15	20...80	5	0,5	p-n-p
ГТ308А	0,05	15	0,15	20...75	120	1,2	p-n-p
КТ350А	0,06	15	0,3	20...200	100	0,4	n-p-n
КТ3107Л	0,1	20	0,3	380...800	200	0,5	p-n-p
КТ3129	0,1	20	0,15	80...250	200	0,5	p-n-p
КТ315А	0,1	25	0,15	20...90	250	0,4	n-p-n
КТ315Б	0,1	20	0,15	50...350	250	0,4	n-p-n
КТ315В	0,1	40	0,15	20...90	250	0,4	n-p-n
КТ315Г	0,1	35	0,15	50...350	250	0,4	n-p-n
КТ315Д	0,1	40	0,15	20...90	250	1	n-p-n
КТ315Е	0,1	35	0,15	50...350	250	1	n-p-n
КТ315Н	0,1	20	0,15	50...350	250	0,4	n-p-n
КТ315Р	0,1	35	0,15	150...350	250	0,4	n-p-n
КТ375А	0,1	60	0,2	10...100	250	0,4	n-p-n
КТ375Б	0,1	30	0,2	50...280	250	0,4	n-p-n
КТ3102Б	0,1	50	0,25	200...500	0,2	0,7	n-p-n
КТ315Б	0,1	20	0,15	50...350	250	0,4	n-p-n
ГТ125Г	0,1	30	0,15	70...140	1	0,3	p-n-p

Продолжение таблицы Ж.1

1	2	3	4	5	6	7	8
КТ3107В	0,1	20	0,3	120...220	200	0,5	p-n-p
КТ605Б	0,1	250	0,4	30...120	40	8	n-p-n
КТ632Б	0,1	100	0,5	30	200	0,8	p-n-p
КТ502Е	0,15	80	0,35	40...120	5	0,6	p-n-p
КТ503Е	0,15	80	0,35	40...120	5	0,6	n-p-n
КТ208Д	0,15	30	0,2	40...120	5	0,4	p-n-p
КТ503Г	0,15	40	0,35	80...240	5	0,5	n-p-n
КТ502Е	0,15	90	0,35	40...120	5	0,5	p-n-p
КТ604АМ	0,2	250	3	10...40	30	8	n-p-n
ГТ321Е	0,2	30	0,16	80...200	60	1	p-n-p
КТ369А	0,25	45	0,05	20...100	200	0,8	n-p-n
КТ209Е	0,3	30	0,2	80...240	5	0,5	p-n-p
КТ209М	0,3	60	0,2	40...120	5	0,4	p-n-p
КТ645А	0,3	50	0,5	20...200	200	0,5	n-p-n
КТ385А	0,3	40	0,3	20...200	200	0,8	n-p-n
КТ209В	0,3	15	0,2	80...240	5	0,4	p-n-p
КТ603А	0,3	30	0,5	10...80	200	1	n-p-n
КТ501Л	0,3	60	0,35	20...60	5	0,5	p-n-p
КТ661А	0,3	60	0,4	100...300	200	0,4	p-n-p
КТ313В2	0,35	45	0,3	200...520	200	0,5	p-n-p
КТ3117А	0,4	50	0,3	40...200	200	0,5	n-p-n
КТ3117А	0,4	50	0,25	40...200	200	0,6	n-p-n
КТ608А	0,4	60	0,5	40...160	200	1	n-p-n
КТ626Д	0,5	20	6,5	40...250	45	1	p-n-p
КТ807А	0,5	70	60	20...125	10	2	n-p-n
ГТ404В	0,5	40	0,6	30...80	1	0,4	n-p-n
ГТ402Ж	0,5	40	0,6	30...80	1	0,3	p-n-p
КТ644В	0,6	40	1	40...120	200	0,4	p-n-p
КТ904А	0,8	40	5	10...60	350	0,6	n-p-n
КТ660А	0,8	45	0,5	110...220	200	0,05	n-p-n
КТ826Б	1	600	15	10...120	6	2,5	n-p-n
КТ503А	1	350	1	15...100	20	0,5	n-p-n
КТ683А	1	150	0,5	40...120	50	0,45	n-p-n
КТ826Б	1	600	15	10...120	2	0,1	n-p-n
ГТ403Ж	1,25	80	4	20...60	0,008	0,5	p-n-p
КТ814Г	1,5	80	10	30	3	0,6	p-n-p
КТ639Г	1,5	60	1	40...100	80	0,5	p-n-p
КТ814В	1,5	60	10	40	3	0,6	p-n-p
КТ851Б	2	250	25	20...200	20	1	p-n-p
КТ887А	2	600	75	20...120	15	1,4	p-n-p
КТ932А	2	80	20	5...80	80	1,5	p-n-p
КТ804Б	2,5	400	15	10...100	5	1	n-p-n
КТ817А	3	25	25	25	3	0,6	n-p-n

**Окончание таблицы Ж.1**

1	2	3	4	5	6	7	8
КТ835А	3	30	30	10...100	3	2,5	p-n-p
КТ816Г	3	80	25	25	3	0,6	p-n-p
ГТ703Б	3,5	40	15	20...45	0,01	0,6	p-n-p
ГТ705Г	3,5	30	15	50...100	1,5	5	n-p-n
КТ962В	4	50	66	20...200	750	1	n-p-n
КТ805АМ	5	160	30	15	20	2,5	n-p-n
КТ828А	5	700	50	2,25	4	3	n-p-n
КТ805АМ	5	160	30	15	60	2	n-p-n
КТ837А	7,5	60	30	10...40	5	2,5	p-n-p
ГТ217Г	7,5	60	24	15...40	0,1	1	p-n-p
КТ812В	8	350	50	10...125	5	2,5	n-p-n
КТ808ВМ	10	80	60	20...125	10	2	n-p-n
КТ819ГМ	10	80	60	12	3	2	n-p-n
ГТ804Б	10	140	15	20...150	10	0,5	p-n-p
КТ803А	10	60	30	10...70	5	5	n-p-n
КТ908Б	10	60	50	20	50	4	n-p-n
КТ818ВМ	15	60	100	20	3	1	p-n-p
КТ819ВМ	15	40	100	20	1	5	n-p-n
КТ827В	20	60	125	750...18000	4	2	n-p-n

## Приложение К

### Параметры стабилитронов

**Таблица К.1**

Тип	Напряжение стабилизации $U_{ст}$ , В	Максимальный ток стабилизации $I_{ст}$ , мА	Дифференциальное сопротивление $R_d$ , Ом	Температурный коэффициент напряжения, % / град.
1	2	3	4	5
КС133А	3,3	81	65	—
КС139А	3,9	70	60	—
Д815И	4,7	1400	0,9	0,056
КС147А	4,7	58	56	—
Д815А	5,6	1400	0,9	0,056
КС156А	5,6	55	46	0,05
Д815Б	6,8	1150	1,2	0,062
КС168А	6,8	45	28	0,06
Д815В	8,2	950	1,5	0,088
Д818А	9	33	25	0,02
Д818Б	9	33	25	0,02
Д818В	9	33	25	$\pm 0,01$
Д818Г	9	33	25	$\pm 0,005$
Д818Д	9	33	25	$\pm 0,002$
Д818Е	9	33	25	$\pm 0,001$
Д815Г	10	800	2,7	0,1
Д815Д	12	650	3	0,11
Д815Е	15	550	3,8	0,13
Д815Ж	18	450	4,5	0,14
Д816А	22	230	10	0,15
Д816Б	27	180	12	0,15
Д816В	33	150	15	0,15
Д816Г	39	130	18	0,15
Д816Д	47	130	22	0,15
Д817А	56	90	52	0,18
Д817Б	68	75	60	0,18
Д817В	82	60	67	0,18
Д817Г	100	50	75	0,18
КС620А	120	42	150	0,2
КС630А	130	38	180	0,2
КС650А	150	33	255	0,2
КС680А	180	28	330	0,2

**Окончание таблицы К.1**

1	2	3	4	5
Д8П	10-12	23	15	—
Д814Г	10—12	29	15	0,095
Д813	11,5—14	20	18	—
Д814Д	11,5—14	24	18	0,095
Д814А	7-8,5	40	6	0,07
Д808	7—8,5	33	6	—
Д809	8—9,5	29	10	—
Д814Б	8—9,5	36	10	0,08
Д810	9—10,5	26	12	—
Д814В	9—10,5	32	12	0,09

## Приложение Л

### Список ГОСТов, используемых при выполнении КП

**Таблица Л.1**

Номер	Название
ГОСТ 2.004–88	ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ
ГОСТ 2.101–68	ЕСКД. Виды изделий
ГОСТ 2.102–68	ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов
ГОСТ 2.103–68	ЕСКД. Стадии разработки
ГОСТ 2.104–2006	ЕСКД. Основные надписи
ГОСТ 2.105–95	ЕСКД. Общие требования к текстовым документам
ГОСТ 2.106–96	ЕСКД. Текстовые документы
ГОСТ 2.109–73	ЕСКД. Основные требования к чертежам
ГОСТ 2.301–68	ЕСКД. Форматы
ГОСТ 2.302–68	ЕСКД. Масштабы
ГОСТ 2.303–68	ЕСКД. Линии
ГОСТ 2.304–81	ЕСКД. Шрифты чертежные
ГОСТ 2.316–2008	ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц
ГОСТ 2.321–84	ЕСКД. Обозначения буквенные
ГОСТ 2.414–75	ЕСКД. Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов
ГОСТ 2.417–91	ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей
ГОСТ 2.701–84	ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению
ГОСТ 2.702–75	ЕСКД. Правила выполнения электрических схем
ГОСТ 2.709–89	ЕСКД. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах
ГОСТ 2.710–81	ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах
ГОСТ 2.711–82	ЕСКД. Схема деления изделия на составные части
ГОСТ 2.721–74	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения
ГОСТ 2.722–68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические
ГОСТ 2.723–68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители

**Окончание таблицы Л.1**

Номер	Название
ГОСТ 2.727–68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники, предохранители
ГОСТ 2.728–74	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы
ГОСТ 2.729–68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные
ГОСТ 2.730–73	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые
ГОСТ 2.731–81	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электровакуумные
ГОСТ 2.732–68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники света
ГОСТ 2.743–91	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники
ГОСТ 2.747–68	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений
ГОСТ 2.755–87	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения
ГОСТ 2.759–82	ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники
ГОСТ 2.764–86	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Интегральные оптоэлектронные элементы индикации
ГОСТ 2.765–87	ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Запоминающие устройства

## **Приложение М**

### **Список рекомендованной литературы для выполнения КП**

- [1] **Аксенов, А.И.** Мощные транзисторы в радиоустройствах / А.И. Аксенов, Д.Н. Глушкова. М., 1974.
- [2] **Артамонов, Б.И.** Источники электрических радиоустройств / Б.И. Артамонов, А.А. Бокуняев. М., 1982.
- [3] **Вересов, Г.П.** Стабилизированные источники питания радиоаппаратуры / Г.П. Вересов, Ю.Л. Сморяков. М., 1978.
- [4] **Грумбина, А.Б.** Электрические машины и источники питания радиоэлектронных устройств / А.Б. Грумбина. М., 1990.
- [5] **Ермолин, Н.П.** Расчет трансформаторов малой мощности / Н.П. Ермолин. Л., 1969.
- [6] **Ефимов, И.П.** Источники питания РЭА: Учебное пособие / И.П. Ефимов. Ульяновск, 2002.
- [7] **Источники** вторичного электропитания (Проектирование РЭА на интегральных микросхемах) / под ред. Ю.Н. Конева. М., 1983.
- [8] **Китаев, В.Е.** Проектирование источников электропитания устройств связи. Учебное пособие / В.Е. Китаев, А.А. Бокуняев. М., 1972.
- [9] **Попов, В.С.** Теоретическая электротехника / В.С. Попов. М., 1990.
- [10] **Разработка** и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ под ред. Э.Т. Романычевой М., 1989.
- [11] **Шангин, Ю.В.** Монтаж радиоэлектронной аппаратуры / Ю.В. Шангин. Мн., 1998.
- [12] **Шустов, М.А.** Практическая схемотехника. Источники питания и стабилизаторы: кн. 2 / М.А. Шустов. М., 2002.
- [13] **Фрумкин, Г.Д.** Расчет и конструирование радиоаппаратуры / Г.Д. Фрумкин. М., 1989.