

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Балаковский инженерно-технологический институт-  
филиал НИЯУ МИФИ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ,  
РАБОТАЮЩИХ В АНАЛОГОВОМ  
ИЛИ ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМАХ**

Методические указания к выполнению курсового проектирования  
по дисциплине «Электротехника и электроника»  
для студентов направления «Управление в технических системах»  
всех форм обучения

*Одобрено  
редакционно-издательским советом  
Балаковского инженерно-технологического  
института*

Балаково 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Цели и задачи курсового проекта	3
2 Основные термины и понятия	3
3 Содержание курсового проекта	5
4 Структура расчетно-пояснительной записки	5
5 Требования к оформлению пояснительной записки	8
6 Порядок выполнения курсового проекта	16
7 Пример расчета	16
8 Варианты заданий на курсовой проект	26
Список литературы	31

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задачей курсового проекта является комплексное решение вопросов проектирования устройств, работающих в аналоговом или импульсном режиме. При этом студенты самостоятельно решают следующий круг вопросов:

- анализ существующих структур аналогичных устройств, выявление их достоинств и недостатков;
- выбор и обоснование структурной схемы проектируемого устройства;
- анализ существующих схемотехнических решений, выполняющих аналогичные заданию функции, выявление их достоинств и недостатков;
- выбор и обоснование принципиальной схемы устройства, удовлетворяющей техническому заданию;
- выбор элементной базы и расчет их параметров в установившемся режиме работы и переходных режимах;
- коррекция принципиальной схемы в случае получения неудовлетворительных параметров и повторный их расчет;

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное значение (резистор, конденсатор, транзистор, трансформатор и т.п.).

Устройство – совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, плата, шкаф, разделительная панель и т.п.). Устройство может не иметь в изделии определенного функционального назначения.

Функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию. Функциональная часть – элемент. Устройство, функциональная группа. Функциональная цепь – линия, канал, тракт определенного назначения (канал звука, видеоканал, тракт СВЧ и т.п.).

Линия взаимосвязи – отрезок линии, указывающей на наличие связи между функциональными частями изделия.

Установка – условное наименование объекта в энергетических сооружениях, на который выпускается схема, например, главные цепи.

Схема структурная – схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи. Схемы структурные разрабатывают при проектировании изделий (установок) на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются ими для общего ознакомления с изделием (установкой). Код структурной схемы в шифре – цифра 1.

Схема функциональная – схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом. Схемами функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте. Код функциональной схемы – цифра 2.

Схема принципиальная (полная) – схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия (установки). Схемами принципиальными пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте. Они служат основанием для разработки других конструкторских документов, например, схем соединений (монтажных) и чертежей. Код принципиальной схемы – цифра 3.

Схема соединений (монтажная) – схема, показывающая соединения составных частей изделия (установки) и определяющая провода, жгуты или

кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.).

## СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части. Расчетно-пояснительная записка представляет собой текстовый документ, выполняемый в соответствии с требованиями ЕСКД. Общий объем пояснительной записки должен составлять 15-25 листов формата А4, включая иллюстрации. Графическая часть содержит два листа формата А4 (либо А3). На первом листе приводится структурная или функциональная схема устройства, на втором листе – принципиальная электрическая схема.

## СТРУКТУРА РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Расчетно-пояснительная записка является основным содержательным документом, включающим в себя все этапы разработки выбранного варианта устройства, и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.32 - 91, ГОСТ 2.105 – 95, определяющими требования, структуру и правила оформления научно - технических документов.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы в приведенной последовательности:

- титульный лист;
- содержание;
- задание на курсовой проект;
- введение;
- основная (расчетная) часть;
- заключение;
- список использованной литературы;

- приложения.

Титульный лист пояснительной записки содержит сведения о вузе и кафедре, название темы и дисциплины, по которой выполняется проект, а также сведения о студенте, разработавшем данный документ, преподавателе и годе выполнения.

Задание может включать в себя научно-исследовательские разработки, экспериментальные исследования. Задание заполняется студентом после выбора варианта работы и утверждения руководителем курсового проекта.

В содержании приводятся все основные этапы выполнения курсового проекта с конкретным указанием листов: введение, выбор и обоснование структурной схемы, выбор и обоснование принципиальной схемы, расчет принципиальной схемы, расчёт КПД устройства, заключение, список использованных источников, приложения. Слово "Содержание" пишут с прописной буквы в середине строки.

Введение кратко характеризует современное состояние электроники в целом и, в частности, в области разработки устройств по теме курсового проекта, назначение и область применения устройства.

В основной части раскрывается содержание основных этапов разработки выбранного варианта электронного устройства.

Основная (расчётная) часть курсовой работы должна содержать следующие разделы:

- выбор и обоснование структурной или функциональной схемы устройства;

- выбор и обоснование принципиальной схемы этого устройства или его частей (по согласованию с консультантом);

- расчёт элементов устройства, выбор типов и номиналов отдельных элементов;

- расчет коэффициента полезного действия.

В первом разделе основной части курсового проекта описывается одна-две структуры аналогичных устройств, известных из технической, учебной или патентной литературы, приводится анализ их недостатков и достоинств. На основе анализа указываются пути устранения недостатков, и обосновывается построение новой структуры, удовлетворяющей техническому заданию. Возможно логическое обоснование построения структурной схемы без анализа известных структур.

Во втором разделе курсового проекта в соответствии с выбранной структурой приводятся две-три известные принципиальные схемы каждого отдельного узла или блока, анализируются их достоинства и недостатки и выбирается схема, предположительно удовлетворяющая техническому заданию.

Расчёт элементов устройства (раздел 3) ведется на основе знаний соответствующих курсов лекций, технической и справочной литературы. Предметом расчетов должны быть все основные параметры элементов. Выбор элементов обосновывается этим расчётом, при этом выбор транзисторов и резисторов должен учитывать рассеиваемую на них мощность. Если расчет показывает, что схема не позволяет получить заданные параметры, производится коррекция схемы или выбирается новая.

Четвертый раздел посвящается расчёту коэффициента полезного действия разработанного устройства. Для этого рассчитывается мощность, потребляемая от источников питания, и мощность, отдаваемая в нагрузку. Первая из них может быть определена либо по суммарному потребляемому току, либо по сумме мощностей, рассеиваемых в каждом элементе устройства.

В заключении пояснительной записки курсового проекта приводится оценка полученных результатов.

Список использованной литературы приводится после заключения и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.32-91. Списку литературы должно

предшествовать заглавие «Список использованных источников». В список входит техническая и патентная литература, ГОСТы, периодические издания, справочники, учебные и методические пособия, использованные в ходе выполнения курсовой работы. Как правило, источники в списке перечисляются в порядке появления ссылок на них в тексте пояснительной записки. Допускается оформление списка в алфавитном порядке. На все источники списка в тексте записки должны быть ссылки.

В приложения включается спецификация и вспомогательный материал: использованные вольтамперные характеристики (ВАХ) полупроводниковых приборов, таблицы зависимостей и графики большого формата, необходимые для расчётов, алгоритмы и программы машинных расчётов, иллюстрации вспомогательного характера.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

### 1) Текстовая часть

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4 14 шрифтом Times New Roman через 1,5 интервал.

Каждый лист должен иметь рамку и основную надпись. Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3 мм, а от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней линий рамки – 10 мм. Абзацы в тексте начинают отступом, равным 20 мм.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацевого отступа. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. В тексте пояснительной записки должны применяться научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии - общепринятые в научно-технической литературе.

Условные буквенные обозначения или знаки должны соответствовать принятым в действующем законодательстве и государственных стандартах.

В тексте документа перед значением параметра дают его пояснение, например, «Соппротивление нагрузки  $R_n$ ».

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой. Числовые значения символов подставляют в том же порядке, что и символы в аналитической формуле.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. Формулы должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы в круглых скобках справа в конце строки. Ссылки на формулы дают также в скобках, например, ...согласно формуле (1)... . Формулы приложений нумеруются с добавлением перед цифрой обозначения приложения, разделенных точкой, например, ...формула (В.1)... . Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например, (3.1).

Количество рисунков должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Рисунки располагают либо в тексте как можно ближе к их описанию, либо в конце текста. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД и должны быть пронумерованы арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1-Название».

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой, например - Рисунок 1.1.

Нумерация иллюстраций приложений состоит из обозначения приложения и порядкового номера иллюстрации, например - Рисунок А.3.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 4» или «... в соответствии с рисунком 1.4» в зависимости от принятого вида нумерации.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Пояснительные данные располагают ниже рисунка, а слово «Рисунок» и наименование помещают после подрисуночного текста, и располагают в середине строки следующим образом: «Рисунок 1 - Схема входного каскада».

На приводимых в пояснительной записке электрических схемах около каждого элемента указывают его позиционное обозначение (в соответствии с ГОСТ 2.710), его порядковый номер в пределах данного вида элемента и, при необходимости, номинальное значение величины или типа полупроводникового прибора.

Таблицы в пояснительной записке нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией. Таблицы каждого приложения нумеруются отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения и точки. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела с указанием перед номером таблицы номера раздела и разделением их точкой. Название таблицы помещают над таблицей слева без точки в конце, например, «Таблица 1 - Параметры транзистора КТ315А».

При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы, над другими частями пишут «Продолжение таблицы ...», «Окончание таблицы ...».

На все таблицы пояснительной записки в ее тексте должны быть приведены ссылки, например, «Параметры транзистора КТ315А приведены в таблице 1».

## 2) Графическая часть

#### - Правила выполнения структурных схем

На структурной схеме изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные взаимосвязи между ними. Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольника или условных графических обозначений.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии. На линиях взаимосвязей рекомендуется стрелками обозначать направление хода процессов, происходящих в изделии.

На схеме должны быть указаны наименования каждой функциональной части изделия, если для ее обозначения применен прямоугольник. На схеме допускается указывать тип элемента (устройства) и (или) обозначение документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, технические условия), на основании которого этот элемент (устройство) применен. При изображении функциональных частей в виде прямоугольников наименования, типы и обозначения рекомендуется вписывать внутрь прямоугольников.

При большом количестве функциональных частей допускается взамен наименований, типов и обозначений проставлять порядковые номера справа от изображения или над ним, как правило, сверху вниз в направлении слева направо. В этом случае наименования, типы и обозначения указывают в таблице, помещаемой под схемой или справа от нее. Допускается помещать на схеме поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов, математические зависимости и т.п.).

#### - Правила выполнения функциональных схем

На функциональной схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в про-

цессе, иллюстрируемой схемой, и связи между этими частями. Функциональные части и связи между ними на схеме изображают в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах Единой системы конструкторской документации. Отдельные функциональные части допускается изображать в виде прямоугольников.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой.

На схеме должны быть указаны:

- для каждой функциональной группы – обозначение, присвоенное ей на принципиальной схеме, и (или) ее наименование; если функциональная группа изображена в виде условного графического обозначения, то ее наименование не указывают;

- для каждого устройства, изображенного в виде прямоугольника, - позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, его наименование и тип и (или) обозначение документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, технические условия), на основании которого это устройство применено;

- для каждого устройства, изображенного в виде условного графического обозначения, - позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, и (или) его тип.

На схеме рекомендуется указывать технические характеристики функциональных частей (рядом с графическими обозначениями или на свободном поле схемы).

На схеме помещают поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывают параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов, математические зависимости и т.п.).

#### - Правила выполнения принципиальных схем

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители, зажимы, разъемы и т.п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

На схеме допускается изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям.

Схемы выполняют для изделий, находящихся в отключенном положении. В технически обоснованных случаях допускается отдельные элементы схемы изображать в выбранном рабочем положении с указанием на поле схемы режима, для которого изображены эти элементы.

Элементы на схеме изображают в виде условных графических обозначений (УГО), установленных в стандартах ЕСКД.

Элементы, используемые в изделии частично, приводятся на схеме не полностью, ограничиваясь изображением только используемых частей. Элементы и устройства изображают на схемах совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов или устройств изображают на схеме в непосредственной близости друг к другу. При разнесенном способе составные части элементов и устройств или отдельные элементы устройств изображают на схеме в разных местах таким образом, чтобы отдельные цепи изделия были изображены наиболее наглядно. Разнесенным способом допускается изображать все и отдельные элементы или устройства. При выполнении схем рекомендуется пользоваться строчным способом. При этом УГО элементов или их составных частей, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – рядом, образуя параллельные (горизонтальные или вертикальные) строки. При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами.

При изображении элементов разнесенным способом допускается на свободном поле схемы помещать УГО элементов, выполненные совмещенным способом. При этом элементы, используемые в изделии частично, изображают полностью с указанием использованных и неиспользованных частей (например, все контакты реле). Выводы неиспользованных частей изображают короче, чем выводы использованных частей.

Для упрощения схемы допускается несколько электрически не связанных линий связи сливать в линию групповой связи, но при подходе к контактам (элементам) каждую линию связи изображают отдельной линией. При слиянии линий связи каждую линию помечают в месте слияния и ответвления цифрами, буквами, сочетанием букв и цифр или обозначениями по ГОСТ 2.751-73.

Каждый элемент и устройство, имеющее самостоятельную принципиальную схему и рассматриваемое как элемент, входящее в изделие, и изображенные на схеме, должны иметь позиционное обозначение в соответствии с ГОСТ 2.710 – 81. Позиционные обозначения элементам (устройствам) присваиваются в пределах изделия (установки). Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, например, *R1, R2, R3* и т.д., *C1, C2, C3* и т.д. Порядковые номера должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов и устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с УГО элементов и устройств с правой стороны или над ними.

На схеме изделия, в состав которого входят устройства, не имеющие самостоятельных принципиальных схем, допускается позиционные обозначения элементам присваивать в пределах каждого устройства. Если в состав изделия входит несколько одинаковых устройств, позиционные

обозначения элементам присваиваются в пределах этих устройств по правилам, указанным выше. Элементом, не входящим в устройства, позиционные обозначения присваивают, начиная с единицы, по тем же правилам.

На схеме изделия, в состав которого входят функциональные группы, позиционные обозначения присваивают вначале элементам, не входящим в функциональные группы, а затем элементам, входящим в функциональные группы.

При наличии в изделии нескольких одинаковых функциональных групп позиционные обозначения элементов, присвоенные в одной из этих групп, следует повторять во всех последующих группах. Обозначение функциональной группы, присвоенное в соответствии с ГОСТ 2.710 – 81, указывают сверху или справа от изображения функциональной группы.

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы, входящие в состав изделия и изображенные на схеме. Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов. При этом связь перечня с УГО элементов должна осуществляться через позиционные обозначения.

При указании около УГО номиналов резисторов и конденсаторов допускается применять упрощенный способ обозначения единиц измерений:

- для резисторов:

а) от 0 до 999 Ом – без указания единиц измерения;

б) от  $1 \cdot 10^3$  до  $999 \cdot 10^3$  Ом – в килоомах с обозначением единицы измерения строчной буквой к;

в) от  $1 \cdot 10^6$  до  $999 \cdot 10^6$  Ом – в мегаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой М;

г) свыше  $10^9$  Ом – в гигаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой Г;

- для конденсаторов:

а) от 0 до  $9999 \cdot 10^{-12}$  Ф – в пикофарадах без указания единицы измерения;

б) от  $1 \cdot 10^{-8}$  до  $9999 \cdot 10^{-6}$  Ф – в микрофарадах с обозначением единицы измерения строчными буквами мк.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задание на курсовой проект выдается преподавателем кафедры. При выдаче задания со студентами проводится вводная беседа о целях и задачах курсового проекта, порядке выполнения и защиты, указываются пособия и технические материалы, которые студенты могут использовать при проектировании.

Таблица 1

### Сроки выполнения по неделям

Срок выполнения по неделям	Выполненная работа по проекту
1	Выдача технического задания
2-3	Проработка литературы
4-5	Разработка функциональной схемы
6	Черновой вариант функциональной схемы
7	Чистовой вариант функциональной схемы
8-9	Разработка принципиальной электрической схемы
10	Черновой вариант принципиальной электрической схемы
11	Чистовой вариант принципиальной электрической схемы
12-13	Энергетический расчет всего устройства
14-15	Выбор типов и номиналов отдельных элементов, расчет КПД устройства
16	Оформление пояснительной записки
17, 18	Защита курсового проекта

## ПРИМЕР РАСЧЕТА

### Исходные данные

Спроектировать электронный регулятор бортового генератора напряжения летательного аппарата. Бортовое напряжение постоянного то-

ка  $27\text{В} \pm 2\%$ , рабочий диапазон температуры от минус  $60^\circ\text{C}$  до плюс  $60^\circ\text{C}$ , максимальный ток обмотки возбуждения генератора – 8 А.

### Выбор структурной схемы

Электронный регулятор напряжения предназначен для стабилизации напряжения в бортовой сети посредством регулирования тока в обмотке возбуждения (ОВ) электронного генератора напряжения. При этом может использоваться непрерывное или импульсное регулирование. Импульсный способ предпочтительнее за счет меньшей мощности, рассеиваемой на регулирующем элементе, что особенно важно при работе устройства в плохих условиях охлаждения в широком температурном диапазоне и в условиях помех, генерируемых потребителями электроэнергии. Поэтому выбираем импульсный способ регулирования.

Регулятор должен измерить величину напряжения бортовой сети и сравнить ее с опорным (образцовым) ( $U_{оп}$ ) и выделить сигнал рассогласования  $U_{рас}$ . Следовательно, проектируемая структура должна содержать датчик напряжения (ДН), источник опорного напряжения (ИОН), устройство сравнения (УС). Далее сигнал рассогласования необходимо усилить по напряжению и по мощности. Поэтому введем в структурную схему усилители напряжения (УН) и мощности (УМ). Последний из них управляет регулирующим элементом (РЭ), коммутирующий ток в обмотке возбуждения ОВ. В результате синтезируем следующую структурную схему:

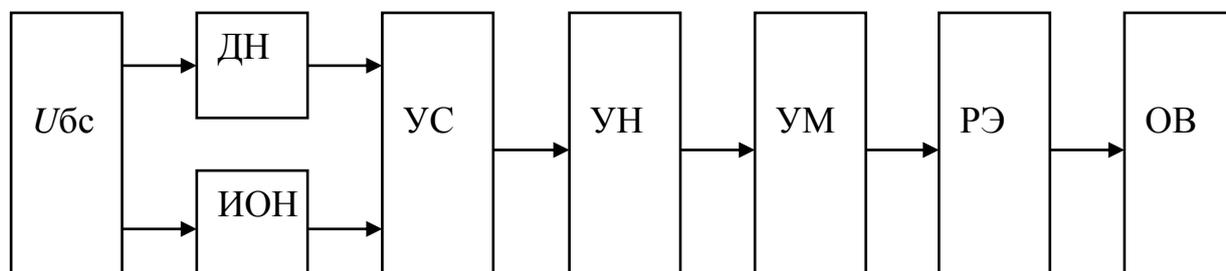


Рис. 1. Структурная схема регулятора напряжения

## Выбор принципиальной схемы

### Выбор датчика напряжения

Датчиком напряжения может служить резистивный делитель напряжения  $R_1R_2$ , подключенный к бортовой сети. Такой датчик обладает следующими недостатками: как постоянное напряжение бортовой сети, так и его изменения передаются на выход с коэффициентом передачи делителя  $k=R_2/(R_1+R_2)$ , т.е. уменьшаются в несколько ( $k$ ) раз. Если в верхнее плечо делителя включить стабилитрон, то его сопротивление  $R_1$  уменьшится, а величина коэффициента  $k$  приближается к единице. Чем ближе напряжение стабилизации  $U_{ст}$  к величине разности  $U_{бс} - U_{оп}$ , тем ближе величина  $k$  к единице.

### Выбор схемы источника опорного напряжения

В качестве источника опорного напряжения может служить параметрический стабилизатор напряжения на стабилитроне. В результате схемы датчика напряжения и ИОН будут иметь вид, приведенный на рисунке 2.

### Выбор схемы устройства сравнения и усилителя напряжения

Устройство сравнения предназначено для сравнения напряжения датчика  $U_{д}$  с опорным напряжением  $U_{оп}$  и выделения разностного сигнала  $U_{оп}-U_{д}$ . Такую функцию выполняет дифференциальный усилительный каскад. Усилитель напряжения предназначен для усиления разностного сигнала по напряжению. Его выходное напряжение должно быть достаточной величины для управления усилителем мощности. Так как напряжение бортовой сети изменяется относительно медленно, то в качестве УН должен быть выбран усилитель постоянного тока.

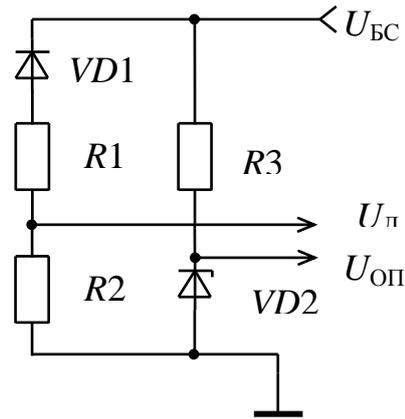


Рис. 2. Схемы датчика напряжения и ИОН

Функции УС и УН можно совместить, используя операционный усилитель (ОУ). Для устранения “дребезга” в моменты переключения ОУ, используем его включение по схеме триггера Шмитта.

Выбор схем усилителя мощности и регулирующего элемента

Регулирующий элемент коммутирует ток в обмотке возбуждения генератора. Один вывод ОВ подключается к плюсовой шине бортовой сети. Следовательно, в качестве РЭ можно выбрать мощный транзистор, включенный по схеме с ОЭ, с ОВ в цепи коллектора. Эмиттерный переход транзистора шунтируем резистором для устойчивости режима отсечки. Для управления регулирующим элементом требуется достаточно большой ток. Для усиления сигнала ОУ по мощности выбираем однокаскадный усилитель по схеме с ОК. Если при расчете параметров окажется, что усиления по мощности недостаточно, схему скорректируем, используя составной транзистор. В цепь коллектора транзистора УМ для ограничения тока включаем резистор.

Согласно сделанному выбору отдельных блоков, получаем полную принципиальную схему регулятора напряжения (рисунок 3).

Датчик напряжения состоит из резисторов  $R1$ ,  $R2$  и стабилитрона  $VD1$ , а источник опорного напряжения – из резистора  $R3$  и стабилитрона

VD2 (рисунок 3). В связи с тем, что устройство работает при изменении температуры окружающей среды на 120 °С, то для ИОН необходимо выбрать стабилитрон с малым температурным коэффициентом напряжения ТКН. При выборе стабилитрона учтем, что его напряжение стабилизации подается на неинвертирующий вход ОУ и является синфазным напряжением ОУ. Вторым критерием выбора стабилитрона является его температурный коэффициент напряжения ТКН. В связи с тем, что напряжение в бортовой сети прямо пропорционально зависит от напряжения стабилизации, оставим на его изменение один процент из двух заданных.

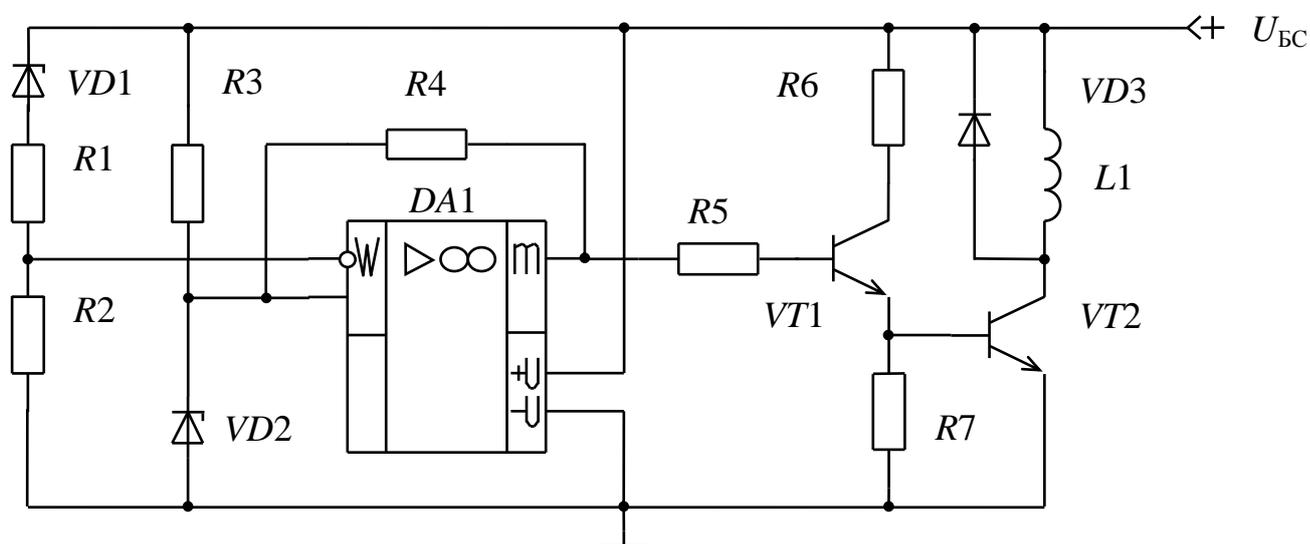


Рис. 3. Принципиальная схема регулятора напряжения

Расчет принципиальной схемы

Расчет датчика напряжения и источника опорного напряжения

Тогда ТКН будет равен

$$\text{ТКН} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{1\%}{120\text{ }^\circ\text{C}} = 0,0083\% / ^\circ\text{C}.$$

Следовательно, ТКН выбранного стабилитрона должен быть не более 0,0083%/°С. Среди выпускаемых отечественной промышленностью термокомпенсированными являются стабилитроны Д818Г-Е, КС190Б-Д, КС191М-Ф, КС 211. Большинство ОУ допускают синфазное напряжение

до 10 Вольт. В качестве стабилитрона  $VD1$  выбираем КС211Д, а  $VD2$  – КС191С со следующими параметрами:

Таблица 2

Параметры стабилитронов

Параметры	КС211Д	КС 191С
$U_{ст}, В$	11	9,1
ТКН, %/°С	0,005	0,005
Ист. мин., мА	5	3
Ист. макс., мА	33	20
$R_{ст.}, Ом$	30	70

Задаемся током стабилизации  $VD2$  - 7,5 мА и найдем сопротивление резистора  $R3$ :

$$R3 = \frac{U_{БС} - U_{СТ2}}{I_{СТ2}}; \quad R3 = \frac{27 - 9,1}{7,5 \cdot 10^{-3}} = 2387 \text{ Ом.}$$

Из ряда Е24 выбираем номинал 2,4 кОм. Рассеиваемая мощность на  $R3$  равна:

$$P_{R3} = (U_{БС} - U_{СТ2})^2 / R3; \quad P_{R3} = (27 - 9,1)^2 / 2400 = 0,134 \text{ Вт.}$$

Выбираем резистор  $R3$  типа МЛТ-0,25-2,4 кОм  $\pm 10\%$ . Задаемся током стабилизации стабилитрона  $VD1$  5 мА и находим общее сопротивление  $R_d$  делителя  $R1R2$ :

$$R_d = R1 + R2 = \frac{U_{БС} - U_{СТ1}}{I_{СТ1}}; \quad R_d = R1 + R2 = \frac{27 - 11}{5 \cdot 10^{-3}} = 3200 \text{ Ом.}$$

Для возможности подстройки напряжения бортсети в качестве резистора  $R1$  возьмем подстрочный резистор, средний вывод которого подключаем к инвертирующему входу  $DA1$ , а напряжение на нем равно  $U_{СТ2}$  в

номинальном режиме. Диапазон регулировки по сопротивлению примем 20%. Тогда:

$$U_{R2} = U_{CT.2} \cdot 0,8; \quad U_{R2} = 9,1 \cdot 0,8 = 7,28 \text{ В};$$

$$R2 = U_{R2} / I_{CT.1}; \quad R2 = 7,28 / 5 \cdot 10^{-3} = 1456 \text{ Ом}.$$

Выбираем ближайший номинал 1,5 кОм. Сопротивление резистора  $R1$  равно:

$$R1 = R_d - R2; \quad R1 = 3,2 - 1,5 = 1,7 \text{ кОм}.$$

Выбираем номинал 1,8 кОм.

Мощности, рассеиваемые на резисторах  $R1$  и  $R2$  равны:

$$P_{R1} = I_{CT.1}^2 \cdot R1; \quad P_{R1} = (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1500 = 0,0375 \text{ Вт};$$

$$P_{R2} = I_{CT.1}^2 \cdot R2; \quad P_{R2} = (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1,8 \cdot 10^3 = 0,045 \text{ Вт}.$$

Резистор  $R1$  выбираем типа СП5-39-1,8 кОм  $\pm 10\%$ , а резистор  $R2$ - типа МЛТ-0,125 – 1,5кОм  $\pm 10\%$ .

#### Расчет устройства сравнения и усилителя напряжения

В качестве УС и УН выбран триггер Шмидта (ТШ) на основе ОУ. Для расчета его параметров необходимо выбрать операционный усилитель. Критериями выбора являются: синфазное напряжение  $U_{CФ}$ , равное  $U_{CT.2}$ , суммарное напряжение питания, равное  $U_{BC}$ , скорость нарастания выходного напряжения ОУ  $V_{UВЫХ}$ . Для снижения динамических потерь в РЭ необходимо, чтобы фронт и срез выходных импульсов ОУ не превышал 1-2 мкс. Ориентировочно необходимую величину  $V_{UВЫХ}$  можно определить по формуле:

$$V_{UВЫХ} \geq \frac{U_{BC}}{t_{\Phi}}; \quad V_{UВЫХ} \geq \frac{27}{1 \div 2} = 13,5 \div 27 \text{ В/мкс}.$$

Указанным требованиям удовлетворят ОУ типа КР554УД2А с параметрами:

$$K_U = 20000; \quad U_{CФ}, \text{ В} = 10;$$

$$\pm U_{ПИТ}, \text{ В} = 15; \quad V_{UВЫХ}, \text{ В/мкс} = 20;$$

$$I_{\text{ПОТР}}, \text{ мА} = 7;$$

$$R_{\text{Н}}, \text{ кОм} \geq 2;$$

$$\pm U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В} \geq \pm 10;$$

$$R_{\text{ВХ}}, \text{ МОм} = 10.$$

Для триггера Шмитта справедливо выражение

$$U_{\Gamma} = 2 \cdot \alpha \cdot U_{\text{ВЫХ}},$$

где  $\alpha = r_{\text{СТ}} / (r_{\text{СТ}} + R4)$ ,  $r_{\text{СТ}}$  – динамическое сопротивление стабилитрона, откуда задавшись шириной зоны гистерезиса  $U_{\Gamma}$  в 0,1 В, что составляет 0,37% от напряжения  $U_{\text{БС}}$ , можно найти величину коэффициента передачи цепи ПОС:  $\alpha = U_{\Gamma} / 2U_{\text{ВЫХ}} = 0,1 / 2 \cdot 10 = 0,005$  и величину сопротивления резистора  $R4$ :  $R4 = r_{\text{СТ}} / \alpha - r_{\text{СТ}}$ ;  $R4 = 70 / 0,005 - 70 = 13930 \text{ Ом}$ .

С целью точной настройки триггера Шмитта в качестве резистора  $R4$  выберем последовательно соединенные постоянный резистор типа МЛТ-0,125-10 кОм  $\pm 10\%$  и подстроечный типа СП5 –39 – 10 кОм  $\pm 10\%$ .

Ограничение выходного тока ОУ  $DA1$  осуществляется резистором  $R5$ , который в сумме с током цепи ПОС не должен превышать 5 миллиампер.

$$I_{R4} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{СТ.2}}}{R4} \approx \frac{U_{\text{БС}} - U_{\text{СТ.2}}}{R4}; \quad I_{R4} = \frac{27 - 9,1}{10^4} = 1,791 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Тогда ток через резистор  $R5$  не должен превышать величины

$$I_{R5} \leq I_{\text{ВЫХ.м}} - I_{R4}; \quad I_{R5} \leq 5 - 1,79 = 3,21 \text{ мА.}$$

Расчет схемы регулирующего элемента и усилителя мощности

Согласно заданию выходной ток РЭ составляет восемь ампер, т.е. ток  $I_{\text{К2}} = 8 \text{ А}$ . Тогда ток базы  $VT2$ :  $I_{\text{Б2}} = I_{\text{К2}} \cdot S_2 / \beta_2$ , где  $S_2$  – коэффициент насыщения  $VT2$ .

Пренебрегая отличием токов эмиттера и коллектора, а также частью тока, ответвляющегося в резистор  $R6$ , можно записать:  $I_{\text{К1}} \approx I_{\text{Э1}} \approx I_{\text{Б2}}$ . Ток базы транзистора  $VT1$  равен:

$$I_{\text{Б1}} = \frac{I_{\text{Э1}}}{\beta_1 + 1} \cdot S1 = \frac{I_{\text{К2}}}{(\beta_1 + 1) \cdot \beta_2} \cdot S1 \cdot S2.$$

С целью уменьшения длительности среза выходного импульса тока РЭ примем величину коэффициентов насыщения транзисторов  $VT1$  и  $VT2$  равными  $S_1 = S_2 = S = 1,5$ . Тогда коэффициент усиления по току РЭ и УМ

равен:  $K_I \geq (\beta_1 + 1) \cdot \beta_2 = \frac{I_{K2}}{I_{B1}} \cdot S^2$ ;

$$K_I = \frac{8}{3,2 \cdot 10^{-3}} \cdot (1,5)^2 = 5625.$$

В качестве ключевого элемента РЭ необходим транзистор с допустимым напряжением коллектор-эмиттер:

$$U_{KЭ.доп.} \geq 1,5 \cdot U_{БС}; U_{KЭ.доп.} \geq 1,5 \cdot 27 = 40,5 \text{ В.}$$

Выбираем транзистор типа КТ908Б с параметрами /15 по всем темам/:

$$\begin{aligned} U_{KЭmax} &= 60 \text{ В,} & h_{21Э} &= 20-60, \\ I_{Kmax} &= 10 \text{ А,} & C_K &\leq 700 \text{ нФ,} \\ I_{KЭс} &\leq 50 \text{ мА,} & f_{гр} &\leq 30 \text{ МГц,} \\ U_{KЭнас} &= 0,25-1,0 \text{ В,} & P_{Kmax} &= 50 \text{ Вт,} \\ U_{БЭнас} &= 1,2-2,3 \text{ В.} \end{aligned}$$

Определяем средний коэффициент передачи по току:

$$\beta_{CP} = \frac{\beta_{MIN} + \beta_{MAX}}{2}; \quad \beta_{CP} = \frac{20 + 60}{2} = 40.$$

Найдем постоянную времени в области высоких частот  $\tau_B$

$$\tau_B = \tau_\beta + \tau_K = \frac{\beta + 1}{2\pi f_{ГР}} + C_K \cdot (\beta + 1) \cdot R_K,$$

$$\text{где } R_K = U_{БС}/I_{ОВ} = 27/8 = 3,38 \text{ Ом.}$$

$$\tau_B = \frac{40 + 1}{2\pi \cdot 30 \cdot 10^{-6}} + 700 \cdot 10^{-12} \cdot (40 + 1) \cdot 3,38 = 0,318 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Тогда длительность фронта импульса напряжения на коллекторе

$$\text{равна: } t_\Phi = \tau_B \ln \frac{S}{S-1}; \quad t_\Phi = 0,317 \cdot 10^{-6} \ln \frac{1,5}{1,5-1} = 0,348 \cdot 10^{-6} \text{ с;}$$

Это вполне приемлемо. Длительность среза, как правило, значительно меньше длительности фронта.

Найдем тепловой ток  $I_{КБ02}$

$$I_{КБ02} = \frac{I_{КЭС2}}{\beta_2 + 1}; \quad I_{КБ02} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{40 + 1} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Коэффициент передачи по току транзистора  $VT1$  должен быть не менее:  $\beta_1 = \frac{K_I}{\beta_2} - 1$ ;  $\beta_1 = \frac{5625}{40} - 1 = 139,6$ .

В качестве усилителя мощности выберем транзистор КТ630Е с параметрами:

$$U_{КЭМАХ} = 60 \text{ В,} \quad h_{21Э} = 160-480,$$

$$I_{нmax} = 1 \text{ А,} \quad C_K \leq 15 \text{ пФ,}$$

$$I_{кбо} \leq 1 \text{ мкА,} \quad f_{гр} \geq 50 \text{ МГц,}$$

$$U_{кэнас} = 0,11 \text{ В,} \quad P_{кmax} = 0,8 \text{ Вт,}$$

$$U_{бэнас} = 0,85 \text{ В.}$$

Найдем ток  $I_{кэс1}$  транзистора  $VT1$ :

$$I_{КЭС1} = I_{КБ01} \cdot (\beta_{1СР} + 1);$$

$$\beta_{1СР} = (160 + 480)/2 = 320;$$

$$I_{КЭС1} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot (320 + 1) = 0,321 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Определим сопротивление резистора  $R7$ :

$$R7 < U_{БЭ.НАС.2} / (I_{КБ02} + I_{КЭС1});$$

$$U_{БЭ.НАС.2} = (U_{БЭ.НАС.2min} + U_{БЭ.НАС.2max}) / 2;$$

$$U_{БЭ.НАС.2} = (1,2 + 2,3) / 2 = 1,75 \text{ В;}$$

$$R7 < 1,75 / (1,22 \cdot 10^{-3} + 0,321 \cdot 10^{-3}) = 1,44 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Выберем величину сопротивления  $R7$  в 680 Ом. Мощность, рассеиваемая в нем, равна:  $P_{R7} = I_{R7}^2 \cdot R7$ ;  $P_{R7} = (1,541 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 680 \approx 2 \text{ мВт.}$

Выбираем резистор  $R7$  типа МЛТ-0,125-680 Ом  $\pm 10\%$ .

$$\text{Ток базы } VT2 \text{ равен: } I_{Б2} = \frac{I_{К2}}{\beta_{2СР}} \cdot S; \quad I_{Б2} = \frac{8}{40} \cdot 1,5 = 0,3 \text{ А.}$$

Ток через резистор  $R7$  равен:

$$I_{R7} = U_{БЭ2НАС.СР}/R7; \quad I_{R7} = 1,75/680 = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ А},$$

где  $U_{БЭ2НАС.СР}$  – среднее значение напряжения насыщения база-эмиттер  $VT2$ .

Так как величина коэффициента  $\alpha_1$  мало отличается от единицы, то можно записать:  $I_{K1} \approx I_{Э1} = I_{Б2} + I_{R7} \approx I_{Б2}$ ;

тогда величину сопротивления  $R6$  можно найти по формуле:

$$R6 = (U_{БС} - U_{КЭ1НАС} - U_{КЭ2НАС})/I_{K1}; \quad R6 = (27 - 0,11 - 1,75)/0,3 = 83,8 \text{ Ом}.$$

Амплитудное значение мощности, рассеиваемой на  $R6$ , равно:  $P_{R6m} = I_{K1}^2 \cdot R6$ ;  $P_{R6m} = (0,3)^2 \cdot 83,8 = 7,54 \text{ Вт}$ .

Учитывая потери в обмотке возбуждения принимаем, что ток  $I_{K1}$  и, соответственно,  $I_{K2}$  течет в течение 0,7 периода работы регулятора; тогда средняя мощность, рассеиваемая в резисторе  $R6$  равна:

$$P_{R6} = P_{R6m} \cdot 0,7; \quad P_{R6} = 7,54 \cdot 0,7 = 5,3 \text{ Вт}.$$

Выбираем с запасом мощности четыре параллельно соединенных резистора типа МЛТ-2-330 Ом  $\pm 10\%$ .

Сопротивление резистора  $R5$  рассчитаем по формуле:

$$R5 = (U_{ВЫХ.ОУmax} - U_{БЭ1НАС} - U_{БЭ2НАС})/I_{R5},$$

где  $I_{R5} = I_{ВЫХ.ОУm} - I_{ПОС} = 5 \cdot 10^{-3} - 1,8 \cdot 10^{-3} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ А}$ ;

$$R5 = (24 - 0,11 - 1,75)/3,2 \cdot 10^{-3} = 6,92 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

Мощность, рассеиваемая на резисторе  $R5$ , равна  $P_{R5} = I_{R5}^2 \cdot R5 = (3,2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 6,92 = 70,9 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$ . В качестве  $R5$  выбираем резистор типа МЛТ-0,125-6,8 к  $\pm 5\%$ .

## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема №1 Проектирование линейного усилителя электрических сигналов на дискретных элементах (таблица 3).

Таблица 3

Исходные данные для проектирования линейного усилителя  
электрических сигналов на дискретных элементах

Вариант	Мощность нагрузки $P_n$ , Вт	$F_n$ , Гц/ $F_v$ , Гц или $F_o$ , кГц	$E_r$ , В	$R_r$ , кОм	$K_r$ , %, не более	Упит 1,2, В не более	$R_n$ , Ом	Дополнительные условия
1-1	2	20/16	0,1	50	2	$\pm 24$	100	Регулирование $K_u$ в 5 раз за счет ООС
1-2	2	100/12	0,02	1000	5	+10	5	Трансформаторный выход
1-3	0,1	10000/80 по уровню 3дБ	0,01	5	5	$\pm 12$	2000	Регулирование $K_u$ в 5 раз за счет ООС
1-4	0,15	120	0,25	70	5	+12	1500	С ООС: $\alpha_u = 0,01$
1-5	0,05	100/20	0,003	500	5	+15	$10^4$	С ООС: $\alpha_u = 0,02$
1-6	0,25	0/500	0,0001	1	5	$\pm 15$	100	Регулировка смещения нуля
1-7	0,25	0/100	0,001	1000	5	$\pm 15$	200	Регулировка смещения нуля
1-8	10	20/20	0,25	1000	3	$\pm 15$	4	С ООС: $\alpha_u = 0,015$
1-9	1	0/500000	0,01	800	1	не задано	100	Регулировка смещения нуля
1-10	2	0/1000000	0,1	500	2	-«-	16	Рег-ние $K_u$ 0...-20дБ

Тема 2 Разработка и расчет генератора синусоидальных колебаний  
(таблица 4)

Таблица 4

Исходные данные для проектирования генератора синусоидальных колебаний

Вариант	$F_o$ , Гц	Упит, не более	$P_n$ , Вт	$R_n$ , Ом	$K_r$ , %	Дополнительные условия
2-1	20-50	$\pm 18$	0,1	1000	5	$\Delta K_u = \pm 15\%$ , на основе ОУ
2-2	400	$+27 \pm 10\%$	1	200	3	$\Delta K_u = \pm 10\%$ , на основе ОУ

2-3	1000	±24	3	400	2	ΔKu = ±15%
2-4	25·10 <sup>4</sup>	±24	0,1	2000	0,5	ΔKu = ±10%
2-5	65·10 <sup>3</sup>	±18	0,2	1000	1	ΔKu = ±10%
2-6	10 <sup>3</sup> -5·10 <sup>3</sup>	±15	0,5	100	3	ΔKu = ±15%
2-7	10 <sup>4</sup>	+30	5	8	3	ΔKu = ±20%
2-8	800 и 1200	+12	2	4	2	Сирена с временем звучания каждого тона по 1 сек.
2-9	27	1,5	0,05	1000	0,5	Не более 2-х транзисторов, Δf=±25кГц, Δku=0...-10дБ
2-10	90	1,5	0,02	5000	0,5	Не более 2-х транзисторов, Δf=±5кГц, Δku=0...-10дБ

Тема 3 Разработка и расчет импульсного устройства на дискретных элементах и аналоговых ИМС (таблица 5).

Таблица 5

Исходные данные для проектирования импульсного устройства на дискретных элементах и аналоговых ИМС

вариант	Un,max, В	ti, мкс	T, мкс	Rн, Ом	Uпит, В, не более	tф, мкс, не более	Полярность импульсов (элементная база)
3-1	15	8	500	15	+12	0,5	Положительные, (дискретная)
3-2	10	50- 500	750	1000	+12	1	Положительные, (дискретная)
3-3	10	300	600	5	±15	0,5	Разнополярные (ОУ)
3-4	10	T/2	500- 1000	10	±12	5	Разнополярные (ОУ)
3-5	20	100	1000	10	±24	2	положительные (ОУ)
3-6	220В, 50Гц	0,1с –10мин		100	220в,50Г ц	-	Реле времени (оптроны, ОУ)
3-7	12	20	100	6	±15	0,8	Отрицательные (ОУ)
3-8	12	80	100	4	±15	0,6	Отрицательные (ОУ)
3-9	1,2	500	1000	100	+1,5	0,5	Положит-я(любая)
3-10	1,2	50	100	1000	+1,5	0,2	Положит-я(любая)

Тема 4 Разработка и расчет генератора пилообразного напряжения на дискретных элементах и ОУ (таблица 6)

Таблица 6

Исходные данные для проектирования генератора пилообразного  
напряжения на дискретных элементах и ОУ

вариант	Uн.мах, В	Rн, Ом	tпр.х., мс	tобр.х., мкс	Упит., В, не более	Коэф-т нелиней- ности, %	Выходные импульсы (тип элементов)
4-1	12	30	0,1	4	+18	2	Положительные, линейно нарастаю- щие (дискретные)
4-2	10	10	10	200	+20	3	Положительные, линейно спадающие (дискретные)
4-3	10	5	0,5	10	±15	0,3	Разнополярные, ли- нейно нарастающие (на основе ОУ)
4-4	5	5	1	50	±15	0,5	Положительные, линейно нарастаю- щие (на основе ОУ)
4-5	10	5	50	1000	±15	1	Положительные, линейно спадающие (на основе ОУ)
4-6	10	10	0,1	15	+30	0,5	Ждущий режим, линейно спадающие (лю- бые)
4-7	12	15	10	100	±15	1	Отрицательные, ли- нейно нарастающие (на основе ОУ)
4-8	12	15	100	800	±15	1	Отрицательные, ли- нейно спадающие (на основе ОУ)
4-9	20	50	0,1	10	не за- дано	0,5	Ждущ.р-м, разно- полярные (любой)
4-10	50	500	0,5	50	-“-	1	Ждущ.р-м, отрица- те, линейно спад-е (дискр.)

Тема 5 Разработка и расчет стабилизатор напряжения на дискретной элементной базе или ОУ (таблице 7)

Таблица 7

Исходные данные для проектирования стабилизатора напряжения на дискретной элементной базе или ОУ

вариант	Входное напряжение	U <sub>вых.</sub> , В	I <sub>вых.</sub> , А	Кст.	Кп, %	Элементная база, наличие защиты
5-1	3-х фазное, 400 Гц, 8/14 В ±10%	12	2	1000	0,1	дискретная
5-2	220 В ± 10%, 50 Гц	5	5	500	0,1	Дискретная, защита по току
5-3	3-х фазное, 400 Гц, 8/14 В ±10%	-12	3	700	0,1	дискретная
5-4	± 20 В ± 10%	±15	3	8000	0,05	ОУ, защита по току
5-5	± 36 В ± 10%	±(3-30)	1	5000	0,05	ОУ, защита по току
5-6	20 В ± 10%	5-15	2	500	0,1	142ЕН1, защита по току
5-7	20 В ± 10%	5-15	1	500	0,1	142ЕП1
5-8	± 20 В ± 10%	3 - 15	5	5000	0,1	ОУ, защита по току
5-9	220 В ± 10%, 50 Гц	0-15	1	10000	0,1	Любая, защита по току с отсечкой
5-10	220 В ± 10%, 50 Гц	0...±15	0,3	5000	0,5	Любая, защита по току с ограничением в 0,5А

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. Миловзоров, О. В. Электроника [Текст] : учебник / О. В. Миловзоров, Панков И. Г. ; рец. Мусолин А. К. - 5-е изд. - М. : ЮРАЙТ, 2013. - 407 с.

2. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника [Текст] : учебник для вузов (бакалавр) / О. П. Новожилов. - М. : Изд-во Юрайт, 2012. - 653 с.

3. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. - Москва : Лань, 2012. - 736 с.

### Дополнительная литература

4. Электротехника и электроника: основы микроэлектроники [Текст] : лабораторный практикум / Н. А. Короткова, А. К. Осипов. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2010. - 59 с

5. Жаворонков М.А. Электротехника и электроника [Текст] : учебное пособие для вузов / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. - 2-е изд., стереотип. - Москва : Академия, 2008. - 394 с.

6. Импульсная электроника [Текст] / Е. Ф. Лебедев [и др.]. - Москва : Янус-К.Ч.1. - [Б. м.], 2011. - 751 с.

7. Импульсная электроника [Текст] / Е. Ф. Лебедев [и др.]. - Москва : Янус-К.Ч.2 : Высокоэнергетичная импульсная электроника. - [Б. м.], 2013. - 670 с.

8. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов [Текст] / А. И. Лебедев. - Москва: Физматлит, 2012. - 488 с.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ,  
РАБОТАЮЩИХ В АНАЛОГОВОМ  
ИЛИ ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМАХ**

Методические указания к выполнению курсового проектирования  
по дисциплине «Электротехника и электроника»  
для студентов направления «Управление в технических системах»  
всех форм обучения

СОСТАВИЛА Корнилова Наталья Валерьевна

Рецензент С.Н. Грицюк

Редактор Л.В. Максимова

Подписано в печать

Бумага тип

Тираж 100 экз.

Усл. печ.л.

Заказ

Формат 60×84 1/16

Уч.–изд.л.

Бесплатно

Балаковский инженерно-технологический институт- филиал НИЯУ МИФИ

Типография БИТИ НИЯУ МИФИ

413853, г.Балаково, ул. Чапаева, 140