

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
Учреждение образования  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

# **ЭЛЕКТРОНИКА**

## **Методические указания**

к выполнению курсовой работы

*для студентов специальности*

*1 – 53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств»*

Брест 2020

УДК 621.382:621.375.4

В методических указаниях к выполнению курсовой работы по дисциплине «Электроника» изложены тематика, состав и структура курсовой работы; приведены рекомендации и требования по выполнению отдельных разделов, требования к оформлению графической части и пояснительной записки.

Методические указания предназначены для студентов специальности 1–53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств» очной формы обучения.

Составитель: А. С. Смаль, старший преподаватель

Рецензент: главный инженер ОАО «Автометрия», А. В. Шацкий

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Электроника» создает фундамент теоретических знаний и практических навыков, уровень которых является базовым в подготовке инженеров по автоматизации технологических процессов, обеспечивая изучение специальных дисциплин, таких как «Электронные устройства автоматики», «Теория автоматического управления», «Технические устройства автоматизации», «Метрология, методы и приборы технических измерений», «Микропроцессорная техника систем автоматизации», «Автоматизированный электропривод» и т. д., и успешную деятельность в части применения, эксплуатации и ремонта оборудования в составе автоматизированных объектов промышленности.

Основная задача курсовой работы по дисциплине «Электроника» — закрепить и углубить знания и практические навыки, полученные в процессе изучения лекционного материала, выполнения лабораторных работ и практических занятий в соответствии с программой курса.

### 1 ТЕМАТИКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В ходе выполнения курсовой работы студент должен продемонстрировать навыки в практической разработке простых электронных схем, реализующих единое электронное устройство. В качестве проектируемых предлагаются модификации известных устройств, например:

- разработка электронного устройства с нормирующими каскадами на биполярных транзисторах, выходные сигналы которых поступают на функциональные преобразователи, выполненные на операционных усилителях. Полученные сигналы через компараторы на операционных усилителях поступают на цифровой логический блок, реализующий заданную логическую функцию. Выход логического блока через счетчик управляет ключевым элементом на транзисторе, включающем реле;
- разработка усилителя, включающего каскады усиления, выполненные на биполярных транзисторах и операционных усилителях, с электронной перестройкой коэффициентов усиления в зависимости от спектрального состава усиливаемого сигнала;
- разработка модуля ввода аналогового сигнала с гальванической развязкой с использованием аналогового нормирующего усилителя, выполненного на транзисторных каскадах усиления и функциональных преобразователях на операционных усилителях, широтно-импульсного преобразователя на операционных усилителях и цифровой логике, ключевого каскада на транзисторах и оптопары;
- разработка цифрового частотомера или фазометра с аналоговым нормирующим усилителем, выполненным на транзисторных каскадах усиления и функциональных преобразователях на операционных усилителях, с автоматическим выбором времени измерения.

### 2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка представляет собой текстовый документ и является основным содержательным документом, включающим в себя все этапы разработки выбранного варианта устройства. Общий объем пояснительной записки должен составлять 15–25 листов формата А4.

К графическому материалу относят чертежи и схемы в виде законченных самостоятельных конструкторских документов или рисунков, выполненных на листах формата А3 или А4.

Пояснительная записка должна обязательно включать следующие структурные элементы в следующей последовательности:

- титульный лист;
- техническое задание (ТЗ);
- реферат;
- содержание;
- введение;
- основную (расчетную) часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ**

#### **3.1 Реферат**

В реферате кратко излагаются сведения об объеме курсовой работы, количестве и характере иллюстраций, а также о количестве использованных источников; ключевые слова о разработанном устройстве, его характеристиках и параметрах, его особенностях, области применения и условиях эксплуатации. Указывается, что разработано и рассчитано автором, какие параметры получены. Реферат выполняется на листе формата А4 без рамки и основной надписи. Пример оформления реферата в Приложении А.

#### **3.2 Содержание**

В содержании приводятся все основные этапы выполнения курсовой работы с конкретным указанием листов: введение, обзор литературных источников, описание электрической схемы электронного устройства, описание электрической схемы источника питания, выбор и расчёт элементов схемы электронного устройства, выбор и расчёт элементов схемы источника питания, заключение, список использованных источников, приложения. Слово «Содержание» пишут с прописной буквы в середине строки. Слово «страница» не пишут. Первый лист содержания является первым листом пояснительной записки и выполняется на листе с основной надписью (форма 2, Приложение Б, б).

#### **3.3 Введение**

Введение кратко характеризует современное состояние электроники в целом и, в частности, в области разработки устройств по теме курсовой работы, назначение и область применения проектируемого устройства. Студент должен сформулировать цели курсовой работы и основные задачи, решения которых предусматриваются в курсовой работе.

#### **3.4 Основная часть**

В основной части раскрывается содержание основных этапов разработки электронного устройства. Основная часть курсовой работы должна содержать следующие разделы:

##### **1. Обзор литературных источников**

В этом разделе приводится обзор существующих аналогичных электронных устройств, известных из технической, учебной или патентной литературы, приводится анализ их недостатков и достоинств.

## 2. Описание электрической схемы электронного устройства

В этом разделе обосновывается выбор принципиальной схемы электронного устройства и указывается назначение всех элементов схемы этого устройства.

## 3. Описание электрической схемы источника питания

В этом разделе описывается принципиальная схема источника питания и указывается назначение всех его элементов.

## 4. Выбор и расчёт элементов схемы электронного устройства

В этом разделе проводится расчёт элементов электронного устройства. Должны быть рассчитаны все основные параметры элементов, причём при выборе транзисторов и резисторов необходимо учитывать рассеиваемую на них мощность. Если расчёт показывает, что схема не позволяет получить соответствующие техническому заданию параметры, производится коррекция схемы или выбирается новая. Для проверки расчёта целесообразно использовать какую-либо программу компьютерного моделирования электронных устройств, например, *Micro-Cap*. С помощью этой программы возможен подбор элементов схемы с целью улучшения её параметров. Результаты моделирования приводятся в конце этого раздела.

## 5. Выбор и расчёт элементов схемы источника питания

Расчёт основных параметров элементов источника проводят, исходя из заданного в предыдущем разделе значения напряжения питания и рассчитанного суммарного тока, потребляемого от источника питания выбранным электронным устройством. При выборе элементов помимо рассчитанных основных параметров должна учитываться также и рассеиваемая на этих элементах мощность.

### **3.5 Заключение**

Дается краткий итог проведенного проектирования. В сжатом виде формулируются важнейшие выводы, к которым пришел студент в результате проделанной работы, приводится оценка полученных результатов, их сравнение с ТЗ. Возможно сравнение с устройством, выпускаемым промышленностью. Рекомендуется указать пути улучшения параметров разработанного устройства, а также привести методы и аппаратуру испытания и проверки устройства.

### **3.6 Приложения**

В приложения включается графическая часть курсовой работы: схемы электрические принципиальные, перечни элементов, схема и протокол испытаний, а также вспомогательный материал: необходимые для расчётов вольтамперные характеристики полупроводниковых приборов, таблицы зависимостей, графики.

## **4 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

При оформлении курсовой работы следует руководствоваться требованиями стандартов «Единой системы конструкторской документации (ЕСКД)». Основное обозначение разработанного комплекта документации включает в себя: обозначение специальности, номер группы и вид работы (курсовая работа), например, 1-53 01 01.АТП-15.КР.

В каждом конкретном случае оно дополняется обозначением вида документа:

- 1-53 01 01.АТП-15.КР.ПЗ – пояснительная записка;
- 1-53 01 01.АТП-15.КР.Э1 – структурная схема;

- 1-53 01 01.АТП-15.КР.Э2 – функциональная схема;
- 1-53 01 01.АТП-15.КР.Э3 – схема электрическая принципиальная;
- 1-53 01 01.АТП-15.КР.ПЭ3 – перечень элементов;
- 1-53 01 01.АТП-15.КР.СБ – сборочный чертёж печатной платы (компоновочный эскиз).

#### **4.1 Оформление пояснительной записки**

Пояснительная записка выполняется на листах формата А4 в соответствии с требованием ГОСТ 2.105-95 к оформлению текстовых документов. Первым является титульный лист. Далее помещается задание на курсовую работу и реферат. Затем следует содержание. Нумерация листов пояснительной записки начинается с содержания.

Каждый лист пояснительной записки должен иметь рамку и основную надпись по ГОСТ 2.101-93. Основная надпись по форме 2 (Приложение Б, б) выполняется только на первом текстовом листе (лист с содержанием), на остальных листах основная надпись чертится по форме, показанной в Приложении Б, г, где заполняется номер листа.

Абзацы в тексте начинают отступом 15 – 17 мм. 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 – не менее 10 мм. Высота шрифта – не менее 2,5 мм (рекомендуется 14 пунктов). Текст печатается через 1 – 1,5 межстрочных интервала.

Текст пояснительной записки разделяют на разделы и при необходимости на подразделы, пункты, подпункты. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов. Номер пункта отделяется от номера раздела или подраздела точкой, а в конце номера пункта точка не ставится.

Внутри текста пунктов или подпунктов могут быть приведены перечисления.

Перед каждой позицией перечисления ставится дефис или, при необходимости сослаться на этот пункт в тексте пояснительной записки на одно из перечислений, строчная буква, после которой ставится скобка. Для дальнейшей детализации перечислений используют арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа.

Каждый пункт, подпункт и перечисление записывается с абзацного отступа.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Пункты, как правило, заголовков не имеют. Заголовки должны чётко и кратко отражать содержание разделов и подразделов.

Расстояние между заголовками разделов и подразделов – 2 интервала, между заголовками и текстом – 3 интервала. Заголовки следует печатать без подчёркивания с прописной буквы без точки в конце. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с нового листа.

Нумерацию формул, рисунков и таблиц рекомендуется выполнять в пределах каждого раздела. Нумерацию страниц целесообразно проставлять вручную после окончательного оформления пояснительной записки.

## 4.2 Оформление графической части

Графическая часть курсовой работы включает в себя схемы электрические принципиальные, перечни элементов, чертежи печатных плат, сборочные чертежи. Схемы следует выполнять в соответствии с общими требованиями ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.702-2011. На схемах электрических принципиальных условные графические обозначения (УГО) элементов должны выполняться согласно соответствующим стандартам, буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710-2001, обозначения проводников и соединений по ГОСТ 2.2709-89. Схемы выполняют с основной надписью (формы 1, 2а, Приложение Б).

При составлении схемы устройства следует придерживаться общепринятого правила: вход – слева, выход – справа. Основное направление прохождения сигнала – слева направо и сверху вниз. Возле каждого элемента (желательно сверху или справа) должно быть указано его позиционное обозначение ( $R1$ ,  $R2$ ,  $C1$ ,  $C2$  и т. д.). Нумеровать элементы необходимо слева направо – сверху вниз.

Линии-выводы эмиттера и коллектора в УГО биполярного транзистора (за пределами окружности, символизирующей его корпус) можно располагать как перпендикулярно линии-выводу базы, так и параллельно ей – в некоторых случаях это позволяет сделать схему компактнее. Излом линии электрической связи, идущей к базе такого транзистора, а также к символам затвора, истока и стока полевого транзистора, допускается на расстоянии не менее 5 мм от окружности-корпуса (в масштабе 1:1). При начертании УГО транзисторов разрешается не использовать окружность.

Данные об элементах принципиальной схемы, полученные в результате электрического расчета и выбора типоминалов элементов, записывают в перечень элементов.

Если перечень элементов помещают на листе со схемой, его располагают, как правило, над основной надписью. Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм. Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя заголовок таблицы. Над таблицей дают надпись «Перечень элементов». При выполнении перечня в виде самостоятельного документа его оформляют на листах формата А4 с основной надписью (форма 2, 2а, Приложение Б, б).

Связь перечня с условными графическими обозначениями элементов на схеме осуществляется через позиционные обозначения элементов.

Элементы в перечне записываются группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы буквенных обозначений элементы располагают 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 графе «Поз. обозн.» — вписывают позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например:  $R1$ ,  $R2$ ;  $C2...C12$ , в графу «Кол.» — общее количество элементов.

Не допускается вписывать в одну строку элементы одного типа с одинаковыми параметрами, но с непоследовательными порядковыми номерами, например:  $R1$ ,  $R3$ ,  $R7$ .

Некоторые условные графические обозначения приведены в Приложении В.

Пример оформления перечня элементов приводится в Приложении Г.

### 4.3 Список использованных источников

Список использованной литературы приводится после заключения и оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003. 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 курсового проекта. В список включают все источники, на которые имеются ссылки в пояснительной записке. Источники в списке располагают в порядке их упоминания в тексте пояснительной записки и нумеруют арабскими цифрами.

Примеры:

#### Учебники, монографии

1. Валенко, В.С. *Электроника и микросхемотехника [Текст] / В.С. Валенко, М.С. Хандогин. – Минск : Бестпринт, 2003. – 320 с.*

#### Статьи в журналах

2. Абламейко, С. В. *Оперативное совмещение цифровых аэрокосмоснимков и карт по опорным точкам в специализированной геоинформационной системе / С. В. Абламейко, С. П. Боричев // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. – 2010. - N 3. – С. 57-66.*

#### Стандарты

3. *ГОСТ Р 51771-2001. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Входные и выходные параметры и типы соединений. Технические требования [Текст]. – Введ. 2002-01-01. - М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001. – IV, 27с.: ил.; 29 см.*

#### Каталоги, технические паспорта

4. *Машина специальная листогибочная ИО 217М [Текст] : листок-каталог : разработчик и изготовитель Кемер. з-д электромонтаж. изделий. – М., 2002. – 3 л. ; 20 см. – 350 экз.*

При использовании информации, представленной в электронном виде (на съёмных носителях, в сети Интернет и др.), библиографическая запись, помимо основных элементов описания, должна содержать элемент – [Электронный ресурс], [Электронны рэсурс], [Electronic resource], который располагается после основного заглавия в квадратных скобках. Если электронные документы размещаются на съёмных носителях (CD-ROM, DVD-ROM и др.), то в области количественной характеристики вносится информация о физических носителях и их количестве. При составлении библиографического описания на ресурсы из Интернета, помимо основных сведений о ресурсе, необходимо приводить интернет-адрес ресурса (URL) и дату обращения к нему. Эта информация располагается после места публикации в сети и записывается следующим образом:

*Режим доступа : <http://elib.bsu.by/handle/123456789/40723>. – Дата доступа: 29.05.2013.*

Сведения о месте создания ресурса и его изготовителе являются факультативными, поэтому допускается их не приводить.

Примеры:

5. *Журавков, М. А. О перспективах использования теории дробного исчисления в механике [Электронный ресурс] / М. А. Журавков, Н. С. Романова ; М-во образования РБ, БГУ. – Минск : БГУ, 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).*



6. Муханин, Л. Г. Схемотехника измерительных устройств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. Г. Муханин. – 2016. – 284 с. – Режим доступа : [http://www.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=68&pl1\\_id=275](http://www.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=68&pl1_id=275). – Загл. с экрана.

7. Члиянц, Г. Создание телевидения // QRZ.RU: сервер радиолюбителей России. 2004. URL: <http://www.qrz.ru/articles/article260.html> (дата обращения: 21.02.2006).

8. Справочники по полупроводниковым приборам // [Персональная страница В.Р. Козака] / Ин-т ядер. физики. [Новосибирск, 2003]. – URL: <http://www.inp.nsk.su/~kozak/start.htm> (дата обращения: 13.03.06).

## 5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

При расчёте электронного устройства необходимо провести анализ исходных данных в задании для проектирования, рассмотреть условия эксплуатации, учитывая воздействие основных дестабилизирующих факторов.

Рассчитывая параметры электронного устройства, например коэффициент усиления, полосу пропускания и др., необходимо увеличить допустимый интервал их значений, так как существует разброс параметров используемых в устройстве электрорадиоэлементов (конденсаторов, резисторов, транзисторов) из-за производственной погрешности их изготовления.

После выполнения расчёта параметров электрорадиоэлементов (транзисторов, резисторов, конденсаторов) выбираются по справочникам конкретные типы элементов, выпускаемые промышленностью, в соответствии с их условиями эксплуатации и обоснованными допусками и далее используются не расчётные, а номинальные их значения сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов.

В данной курсовой работе рекомендуется выбирать номинальные значения сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов в соответствии со стандартным рядом номинальных значений E24 (Приложение Д).

### 5.1 Расчёт электронного усилителя на транзисторах

Исходными данными для расчёта выходного каскада усилителя могут являться различные параметры, например, выходная мощность  $P_{\text{ВЫХ}}$ , сопротивление нагрузки  $R_{\text{Н}}$ , максимальное напряжение на нагрузке  $U_{\text{Н}m}$ , максимальный ток в нагрузке  $I_{\text{Н}m}$ . Зная какую-либо пару заданных параметров, можно найти неизвестный параметр:

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{Н}m} I_{\text{Н}m}}{2} = \frac{U_{\text{Н}m}^2}{2R_{\text{Н}}} = \frac{I_{\text{Н}m}^2 R_{\text{Н}}}{2}; \quad (5.1.1)$$

$$U_{\text{Н}m} = \sqrt{2P_{\text{ВЫХ}} \cdot R_{\text{Н}}}; \quad I_{\text{Н}m} = \frac{U_{\text{Н}m}}{R_{\text{Н}}} = \sqrt{\frac{2P_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}}}.$$

Далее, используя заданное амплитудное значение напряжения  $E_{\text{Г}m}$  источника сигнала, необходимо определить сквозной коэффициент усиления по напряжению

$$K_E = \frac{U_{\text{Н}m}}{E_{\text{Г}m}}. \quad (5.1.2)$$

Если значение коэффициента усиления  $K_E > 100$ , то электронный усилитель должен быть многокаскадным. В многокаскадных усилителях общий коэффициент усиления находят путём перемножения коэффициентов усиления отдельных каскадов:

$$K_E = \frac{R_{BX1}}{R_\Gamma + R_{BX1}} \cdot K_{U1} \cdot K_{U2} \dots K_{UN}, \quad (5.1.3)$$

где  $R_{BX1}$  – входное сопротивление первого каскада;  $R_\Gamma$  – выходное (внутреннее) сопротивление источника сигнала;  $K_{U_i}$  – коэффициент усиления по напряжению -того каскада,  $N$  – количество каскадов.

Многокаскадные усилители рассчитывают, начиная с выходного (оконечного) каскада. Получаемые при этом входные параметры (напряжение,  $U_{BXi} = U_{ВЫХi} K_{U_i}$ , и сопротивление  $R_{BXi}$ ) рассчитываемого ( $i$ -того) каскада являются исходными данными ( $U_{H(i-1)} = U_{BXi}$ ,  $R_{H(i-1)} = R_{BXi}$ ) для расчёта предшествующего ( $i - 1$ -го) каскада.

Для получения необходимого коэффициента усиления и улучшения параметров усилителя обычно вводят отрицательную обратную связь. Эта связь может быть как местная, действующая в отдельном каскаде, так и общая, охватывающая весь усилитель.

### 5.1.1 Расчёт усилительного каскада на биполярном транзисторе

На рисунках 5.1.1.1 – 5.1.1.3 представлены усилительные каскады (УК) на биполярных транзисторах (БТ) с различными способами включения транзистора: с общим эмиттером (ОЭ), с общей базой (ОБ) и с общим коллектором (ОК) соответственно.

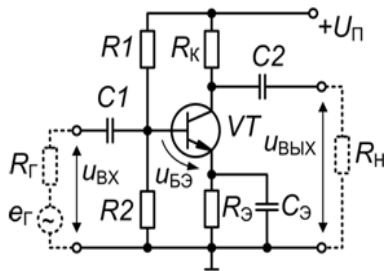


Рисунок 5.1.1.1– Схема УК с ОЭ с эмиттерной стабилизацией

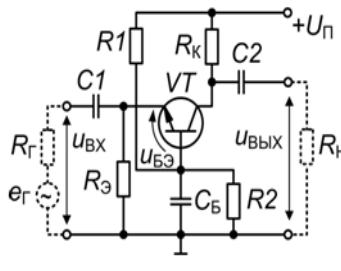


Рисунок 5.1.1.2 – Схема УК с ОБ

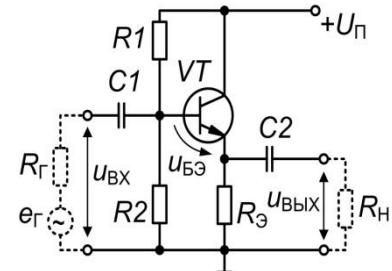


Рисунок 5.1.1.3– Схема УК с ОК

В усилительных каскадах на биполярных транзисторах сопротивление резистора  $R_K$  (или  $R_\Delta$  для схемы с ОК (рис. 5.1.1.3)) выбирают таким, чтобы максимальный ток коллектора не превышал допустимого значения для используемого транзистора.

Для обеспечения малых нелинейных искажений выходного сигнала в схемах усилительных каскадов с ОЭ и ОБ обычно принимают:  $R_K = 0,3 \dots 0,6 R_H$ ;

а для схемы с ОК

$$R_\Delta = 0,5 \dots 0,8 R_H.$$

Так как по переменному току резистор  $R_K$  (резистор  $R_\Delta$  для схемы с ОК) и нагрузка  $R_H$  оказываются включёнными параллельно, то амплитудное значения тока коллектора (тока эмиттера для схемы с ОК)

$$I_{Km} = \frac{U_{Hm}}{R_K || R_H} \quad (\text{или } I_{\Delta m} = \frac{U_{Hm}}{R_\Delta || R_H} \quad \text{для схемы с ОК}),$$

где «||» обозначает параллельное соединение резисторов, т. е.

$$R_K || R_H = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}, \text{ или } R_{\text{Э}} || R_H = \frac{R_{\text{Э}} \cdot R_H}{R_{\text{Э}} + R_H}.$$

Максимальное напряжение на нагрузке  $U_{Hm}$  находят, используя соотношения (5.1.1). После определения амплитудного значения тока коллектора задают:

- ток коллектора покоя:  $I_{K0} = 1,2 \dots 1,4 I_{Km}$ ;
- напряжение коллектор-эмиттер покоя:  $U_{KЭ0} = 1,2 \dots 1,5 U_{Hm} + U_{KЭ \min}$ ;
- напряжение источника питания:  $U_{\Pi} \geq U_{KЭ0} + I_{K0} R_K$  (или  $R_{\text{Э}}$  (с ОК)).

Здесь  $U_{KЭ \min}$  – напряжение, соответствующее работе транзистора в режиме насыщения, для маломощных транзисторов  $U_{KЭ \min} = 0,5 \dots 1,0$  В или  $1 \dots 2$  В для мощных. Поскольку  $I_B \ll I_K$ , то для схемы с ОК можно считать  $I_K = I_{\text{Э}} - I_B \approx I_{\text{Э}}$ .

В схемах УК с ОЭ (рис. 5.1.1.1) и с ОБ (рис. 5.1.1.2) из-за дополнительного падения напряжения на резисторе  $R_{\text{Э}}$  значение напряжения питания принимают на  $5 \dots 15$  % выше, чем в других схемах.

**При задании напряжения питания следует округлять полученное значение до большего целого значения.**

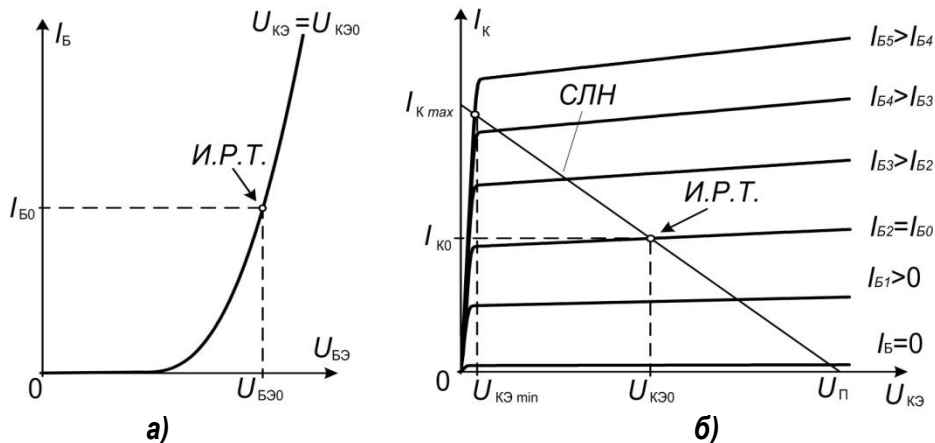
После задания напряжения питания уточняют напряжение покоя

$$U_{KЭ0} = U_{\Pi} - I_{K0} R_K + R_{\text{Э}} > U_{Hm} + U_{KЭ \min},$$

где принимают  $R_{\text{Э}} = 0,05 \dots 0,1 R_K$ , а для схемы с ОК используется выражение

$$U_{KЭ0} = U_{\Pi} - I_{K0} R_{\text{Э}} > U_{Hm} + U_{KЭ \min}.$$

Далее на семействе выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзистора отмечают исходную рабочую точку (И.Р.Т.) с координатами  $U_{KЭ0}; I_{K0}$  и находят ток базы покоя  $I_{B0}$  (рис. 5.1.1.4, б). Если И.Р.Т. не попадает ни на одну из показанных на графике выходных характеристик, применяют метод интерполяции, используя две ближайшие к И.Р.Т. характеристики. На входной ВАХ отмечают И.Р.Т. в соответствии с найденным значением  $I_{B0}$  и определяют напряжение база-эмиттер покоя  $U_{BЭ0}$  (рис. 5.1.1.4, а). Затем определяют максимальный ток коллектора  $I_{K \max}$ , для этого на выходных ВАХ по двум точкам  $U_{\Pi}; 0$  и  $U_{KЭ0}; I_{K0}$  строят статическую линию нагрузки (СЛН) до пересечения её с осью токов (рис. 5.1.1.4, б).



**Рисунок 5.1.1.4 – Входные (а) и выходные (б) вольт-амперные характеристики транзистора**

После выбора режима покоя из справочника выбирается транзистор, параметры которого удовлетворяют следующим условиям:

$$U_{КЭ \text{ махдоп.}} > U_{\Pi}; I_{К \text{ махдоп.}} > I_{К \text{ мах}}; P_{К \text{ махдоп.}} > I_{К0} \cdot U_{КЭ0}.$$

Требуемые значения токов покоя  $I_{К0}$ ,  $I_{Б0}$  и напряжений  $U_{КЭ0}$ ,  $U_{БЭ0}$  обеспечивают с помощью источника питания и резисторов цепей смещения  $R1$ ,  $R2$ . Значения сопротивлений этих резисторов рассчитывают по формулам:

$$R1 = \frac{U_{\Pi} - U_{Б}}{I_{Д} + I_{Б0}}; R2 = \frac{U_{Б}}{I_{Д}},$$

где потенциал базы  $U_{Б} = U_{БЭ0} + I_{К0} + I_{Б0} R_{Э}$ ;  $I_{Д}$  – ток делителя, который выбирается из условия обеспечения необходимой стабильности режима работы. Обычно принимают  $I_{Д} = (2...10)I_{Б0}$ . Желательно также, чтобы ток делителя не превышал 10...15 % тока коллектора, т. е.  $I_{Д} \leq (0,1...0,15)I_{К0}$ .

Для расчёта параметров УК на БТ по переменному току используют малосигнальные схемы замещения, показанные на рисунке. 5.1.1.5 для различных схем включения биполярных транзисторов.

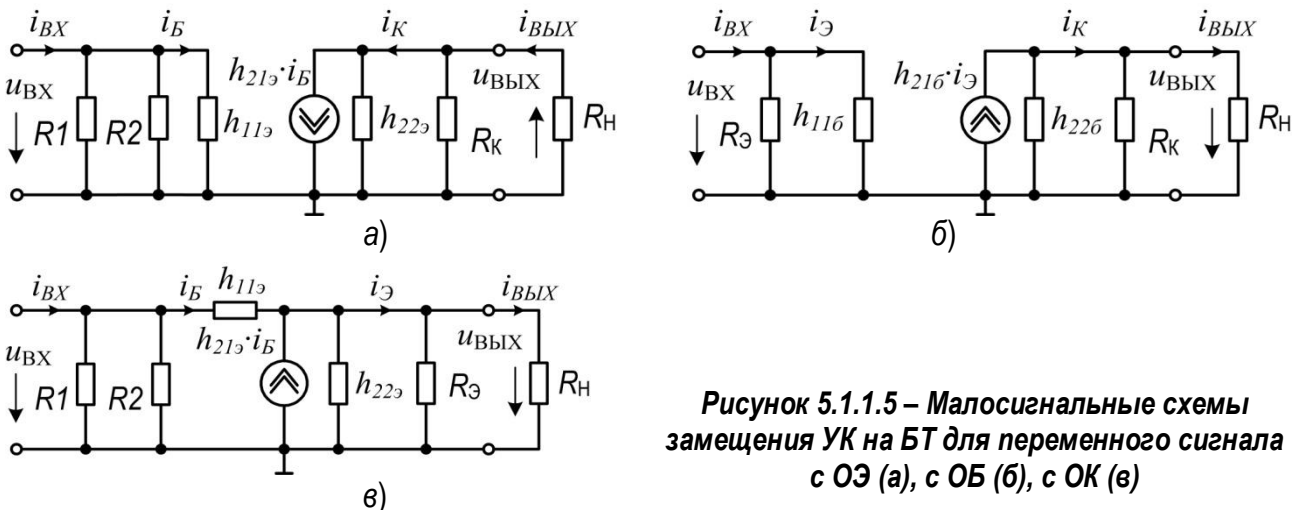


Рисунок 5.1.1.5 – Малосигнальные схемы замещения УК на БТ для переменного сигнала с ОЭ (а), с ОБ (б), с ОК (в)

Для схемы с ОЭ согласно малосигнальной схеме замещения (рис. 5.1.1.5, а):

входное сопротивление  $R_{ВХ} = R1 \parallel R2 \parallel r_{ВХ}^{тр}$ ,

где сопротивление  $r_{ВХ}^{тр}$  входной цепи транзистора зависит от наличия шунтирующего конденсатора  $C_{Э}$ :

$$r_{ВХ}^{тр} = \begin{cases} h_{11э}, & \text{при наличии конденсатора } C_{Э}, \\ h_{11э} h_{11э} + 1 + h_{21э} R_{Э}, & \text{при отсутствии конденсатора } C_{Э}; \end{cases}$$

выходное сопротивление  $R_{ВЫХ} = R_{К} \parallel h_{22э}^{-1} = \frac{R_{К}}{1 + R_{К} h_{22э}}$  ;

коэффициент усиления по напряжению  $K_U = \frac{h_{21э}}{r_{ВХ}^{тр}} \cdot \frac{R_{К}}{1 + R_{К} h_{22э} + \frac{R_{К}}{R_{Н}}}$ .

Для схемы с ОБ согласно малосигнальной схеме замещения (рис. 5.1.1.5 б):

входное сопротивление  $R_{BX} = R_{\text{Э}} || h_{11\text{б}}$ ;

выходное сопротивление  $R_{ВЫХ} = R_K || h_{22\text{б}}^{-1} = \frac{R_K}{1 + R_K h_{22\text{б}}}$ ;

коэффициент усиления по напряжению  $K_U = \frac{h_{21\text{б}}}{h_{11\text{б}}} \cdot \frac{R_K}{1 + R_K h_{22\text{б}} + \frac{R_K}{R_H}}$ .

Для схемы с ОК согласно малосигнальной схеме замещения (рис. 5.1.1.5, в):

входное сопротивление  $R_{BX} = R1 || R2 || h_{11\text{э}} + 1 + h_{21\text{э}} R_{\text{ЭКВ.}}$  ;

выходное сопротивление  $R_{ВЫХ} = R_{\text{Э}} \frac{R1 || R2 || R_{\Gamma} + h_{11\text{э}}}{1 + h_{21\text{э}}} \frac{1}{h_{22\text{э}}}$  ,

коэффициент усиления по напряжению  $K_U = \frac{1 + h_{21\text{э}} R_{\text{ЭКВ.}}}{h_{11\text{э}} + 1 + h_{21\text{э}} R_{\text{ЭКВ.}}}$  ,

где  $R_{\text{ЭКВ.}} = R_{\text{Э}} R_H h_{22\text{э}}^{-1}$  ;  $R_{\Gamma}$  – выходное сопротивление источника сигнала.

### 5.1.2 Расчёт усилительного каскада на полевом транзисторе

На рисунках 5.1.2.1, 5.1.2.2 представлены УК на полевых транзисторах (ПТ): рис. 5.1.2.1, а – с общим истоком (ОИ) на ПТ с управляющим  $p$  – переходом (ПТУП), рис. 5.1.2.1, б – с ОИ на ПТ с изолированным затвором (ПТИЗ), рис. 5.1.2.2 – с общим стоком (ОС) на ПТУП (для УК на ПТИЗ схема выглядит аналогично).

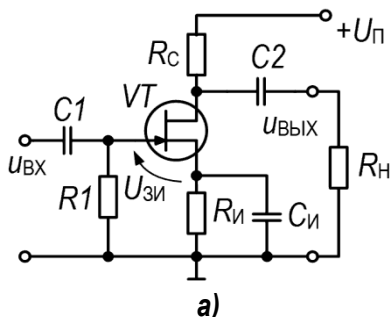


Рисунок 5.1.2.1 – Схемы УК с ОИ на ПТУП (а); на ПТИЗ (б)

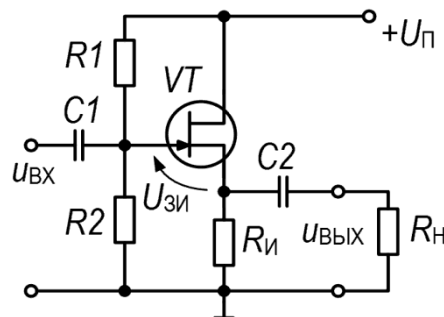
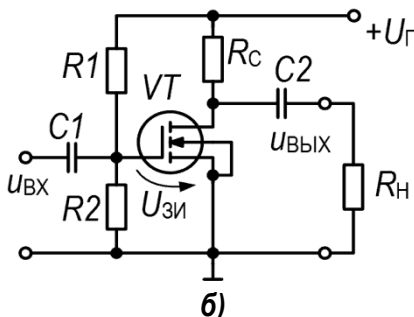


Рисунок 5.1.2.2 – Схема УК с ОС

Для схемы УК с общим истоком на полевом транзисторе с управляющим переходом (рис. 5.1.2.1,а) сопротивление резистора  $R_C$  выбирают таким, чтобы максимальный ток стока не превышал начальный ток  $I_{C \text{ нач.}}$ , а для схемы на ПТИЗ ((рис. 5.1.2.1,б)) – максимально допустимого значения тока стока  $I_{C \text{ max доп.}}$  для данного транзистора. Такое же требование должно выполняться и для УК на ПТ с общим стоком (рис. 5.1.2.2), но по отношению к сопротивлению резистора  $R_{\text{и}}$ .

В целях получения максимального усиления по напряжению в схемах усилительных каскадов с общим истоком (рис. 5.1.2.1) следует принимать

$$R_C = 0,3 \dots 0,6 R_H;$$

для схемы с ОС (рис. 5.1.2.2)  $R_{\text{и}} = 0,5 \dots 0,8 R_H$ .

Так как по переменному току резистор  $R_C$  ( $R_{И}$  для схемы с ОС) и нагрузка  $R_H$  оказываются включёнными параллельно, то амплитудное значения тока стока

$$I_{Cm} = \frac{U_{Hm}}{R_C || R_H} \text{ (или } I_{Cm} = \frac{U_{Hm}}{R_{И} || R_H} \text{ для схемы с ОС),}$$

где «||» обозначает параллельное соединение резисторов, т.е.

$$R_C || R_H = \frac{R_C \cdot R_H}{R_C + R_H}, \text{ или } R_{И} || R_H = \frac{R_{И} \cdot R_H}{R_{И} + R_H}.$$

Максимальное напряжение на нагрузке  $U_{Hm}$  находят, используя соотношения (5.1.1).

После определения амплитудного значения тока стока  $I_{Cm}$  задают:

– ток стока покоя  $I_{C0} = 1,2 \dots 1,8 I_{Cm}$ ;

– напряжение сток–исток покоя  $U_{СИ0} = 1,2 \dots 1,5 U_{Hm} + U_{СИ\min}$ ,

где  $U_{СИ\min}$  равно напряжению отсечки  $U_{ЗИ\отс.}$  ПТУП (рис. 5.1.2.1, а) или пороговому напряжению  $U_{ЗИ\пор.}$  ПТИЗ с индуцированным каналом (рис. 5.1.2.1, б).

Напряжение источника питания для схемы УК с ОИ на ПТУП (рис. 5.1.2.1, а):

$$U_{П} \geq U_{СИ0} + I_{C0} R_C + U_{ЗИ0},$$

где  $U_{ЗИ0} = U_{ЗИ\отс.} \left( 1 - \frac{I_{C0}}{I_{C\нач.}} \right)$ ;

а для схем усилительных каскадов на ПТИЗ (и на ПТУП в схеме с ОС (рис. 5.1.2.2))

$$U_{П} \geq U_{СИ0} + I_{C0} R_C \text{ (или } R_{И} \text{ вместо } R_C \text{ для УК с ОС).}$$

При задании напряжения питания следует округлять полученное значение до большего целого значения.

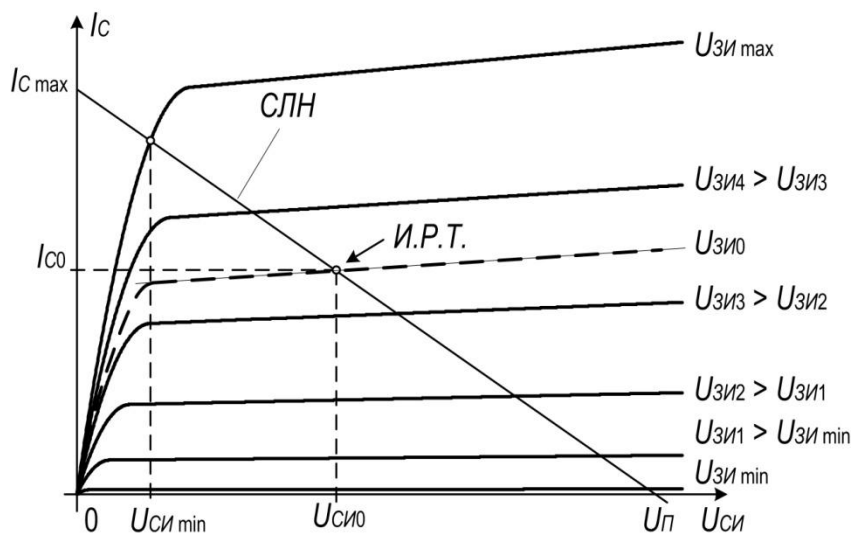


Рисунок 5.1.2.3 – Выходные вольт-амперные характеристики полевого транзистора

После задания напряжения питания уточняют напряжение сток–исток покоя для схемы УК с ОИ на ПТУП

$$U_{\text{СИО}} = U_{\text{П}} - I_{\text{С0}}R_{\text{С}} - U_{\text{ЗИО}} > U_{\text{Н м}} + U_{\text{СИmin}},$$

а для схем УК на ПТИЗ (и в УК на ПТУП в схеме с ОС)

$$U_{\text{СИО}} = U_{\text{П}} - I_{\text{С0}}R_{\text{С}} > U_{\text{Н м}} + U_{\text{СИ min}} \text{ (или } R_{\text{И}} \text{ вместо } R_{\text{С}} \text{ в схеме УК с ОС).}$$

Далее на семействе выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзистора отмечают исходную рабочую точку (И.Р.Т.) с координатами  $U_{\text{СИО}}; I_{\text{С0}}$  и находят напряжение затвор–исток покоя  $U_{\text{ЗИО}}$  (рис. 5.1.2.3). Если И.Р.Т. не попадает ни на одну из показанных на графике выходных характеристик, применяют метод интерполяции, используя две ближайшие к И.Р.Т. характеристики. Затем определяют максимальный ток стока  $I_{\text{С max}}$ , для этого на выходных ВАХ по двум точкам  $U_{\text{П}}; 0$  и  $U_{\text{СИО}}; I_{\text{С0}}$  строят статическую линию нагрузки (СЛН) до пересечения её с осью токов (рис. 5.1.2.3).

После выбора режима покоя из справочника выбирается транзистор, параметры которого удовлетворяют следующим условиям:

$$U_{\text{СИ maxдоп.}} > U_{\text{П}}; I_{\text{С maxдоп.}} > I_{\text{С max}}; P_{\text{С maxдоп.}} > I_{\text{С0}} \cdot U_{\text{СИО}}. \quad (5.1.2.1)$$

Требуемые значения тока стока покоя  $I_{\text{С0}}$  и напряжений  $U_{\text{СИО}}$ ,  $U_{\text{ЗИО}}$  обеспечивают с помощью источника питания и резисторов цепей смещения. При этом необходимо помнить, что для управления током стока в УК на ПТУП с каналом  $n$ –типа необходимо задавать напряжение затвор–исток  $U_{\text{ЗИО}} < U_{\text{ЗИотс.}}$ , в УК на ПТИЗ с индуцированным каналом  $n$ –типа  $U_{\text{ЗИО}} > U_{\text{ЗИпор.}}$ , а в УК на ПТИЗ с встроенным каналом  $n$ –типа  $U_{\text{ЗИО}}$  может быть либо больше, либо меньше, либо равным нулю. В этом случае схема УК может иметь вид, представленный на рисунке 5.1.2.1, а или б, причём, если  $U_{\text{ЗИО}} = 0$ , то резистор  $R_{\text{И}}$  в цепи истока может отсутствовать.

В схеме на рисунке 5.1.2.1, а режим по постоянному току задаётся с помощью резисторов  $R_1$ ,  $R_{\text{И}}$  и источника питания  $U_{\text{П}}$ . В этой схеме, называемой *схемой с автоматическим смещением*, за счёт протекания тока стока через резистор  $R_{\text{И}}$  автоматически создаётся обратное смещение  $p$ –перехода затвор – исток:

$$U_{\text{ЗИО}} = U_{\text{З}} - U_{\text{И}} = U_{\text{З}} - I_{\text{С0}}R_{\text{И}},$$

где  $U_{\text{И}} = I_{\text{С0}}R_{\text{И}}$  – потенциал истока;  $U_{\text{З}}$  – потенциал затвора. Так как резистор  $R_1$  обеспечивает связь затвора с общим проводом, то при бесконечно малом входном токе  $I_3$  можно считать  $U_{\text{З}} \approx 0$ . Поэтому

$$U_{\text{ЗИО}} \approx -I_{\text{С0}}R_{\text{И}}. \quad (5.1.2.2)$$

Таким образом, из выражения (5.1.2.2) следует, что

$$R_{\text{И}} = \frac{U_{\text{ЗИО}}}{I_{\text{С0}}}.$$

Сопrotивление резистора  $R_1$  принимают  $R_1 = 10...100$  кОм. (5.1.2.3)

В схеме на рисунке 5.1.2.1, б режим по постоянному току задаётся с помощью резисторов  $R_1$ ,  $R_2$  и источника питания  $U_{\text{П}}$ . Напряжение между затвором и истоком

$$U_{\text{ЗИО}} = U_{\text{З}} - U_{\text{И}} = U_{\text{З}} > U_{\text{ЗИпор.}}, \quad (5.1.2.4)$$

равно потенциалу затвора  $U_3$  (т. к. потенциал истока равен нулю), который определяется по формуле

$$U_3 = U_{\Pi} \frac{R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5.1.2.5)$$

Задаваясь значением  $R_1 || R_2 = 0,1 \dots 10 \text{ МОм}$ , (5.1.2.6)

из выражений (5.1.2.4) – (5.1.2.6) находим

$$R_1 = \frac{U_{\Pi}}{U_{3и0}} \times 0,1 \dots 10 \text{ МОм}; \quad R_2 = \frac{U_{3и0}}{U_{\Pi} - U_{3и0}} R_1.$$

В схеме с общим стоком (рис. 5.1.2.2) напряжение между затвором и истоком

$$U_{3и0} = U_3 - U_{и} = U_3 - I_{с0} R_{и},$$

где потенциал затвора  $U_3$  определяется по (5.1.2.5). При расчёте сопротивлений делителя напряжения  $R_1 - R_2$  в зависимости от типа применяемого транзистора следует руководствоваться соотношением (5.1.2.3) или (5.1.2.6). Тогда для

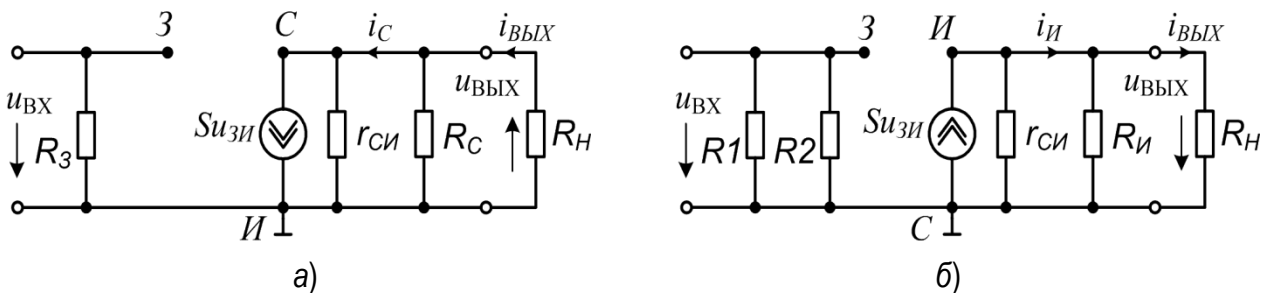
УК на ПТУП:  $R_1 = \frac{U_{\Pi}}{U_3} \times 10 \dots 100 \text{ кОм}; \quad R_2 = \frac{U_3}{U_{\Pi} - U_3} R_1,$

где  $U_3 = I_{с0} R_{и} - U_{3и0}$  ;

для УК на ПТИЗ:  $R_1 = \frac{U_{\Pi}}{U_3} \times 0,1 \dots 10 \text{ МОм}; \quad R_2 = \frac{U_3}{U_{\Pi} - U_3} R_1,$

где  $U_3 = I_{с0} R_{и} + U_{3и0}$  .

Для расчёта параметров УК на ПТ по переменному току используют малосигнальные схемы замещения, показанные на рисунке 5.1.2.4 для различных схем включения полевых транзисторов для переменного сигнала на средней частоте.



**Рисунок 5.1.2.4 – Малосигнальные схемы замещения УК на ПТ для переменного сигнала с ОИ (а), с ОС (б)**

На рисунке 5.1.2.1, а представлена обобщённая малосигнальная схема замещения по переменному сигналу схем УК с ОИ, показанных на рисунке 5.1.2.1. Для схемы на ПТУП (а) резистор  $R_3$  следует заменить резистором  $R_1$ , а в схеме на ПТИЗ (б) резистор  $R_3$  следует заменить параллельно соединёнными резисторами  $R_1, R_2$  (как показано на рисунке 5.1.2.1, б). Соответственно для схем с ПТУП и ПТИЗ

$$R_3 = R_1; \quad (5.1.2.7)$$



$$R_3 = R1 || R2 = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}. \quad (5.1.2.8)$$

Для схемы с ОИ согласно малосигнальной схеме замещения (рис. 5.1.2.1, а) и выражениями (5.1.2.7), (5.1.2.8):

входное сопротивление  $R_{BX} = R_3;$

выходное сопротивление  $R_{ВЫХ} = R_C || r_{СИ};$

коэффициент усиления по напряжению  $K_U = \frac{S R_C || r_{СИ} || R_H}{1 + S R_{И}}$ , при наличии конденсатора  $C_{И}$  и отсутствии конденсатора  $C_{И}$ .

Для схемы с ОС согласно малосигнальной схеме замещения (рис. 5.1.2.1, б):

входное сопротивление  $R_{BX} = R1 || R2;$

выходное сопротивление  $R_{ВЫХ} = R_{И} || \frac{1}{S} = \frac{R_{И}}{1 + S R_{И}};$

коэффициент усиления по напряжению  $K_U = \frac{S R_{И} || r_{СИ} || R_H}{1 + S R_{И} || r_{СИ} || R_H}.$

### 5.1.3 Расчёт ёмкостей конденсаторов

Так как разделительные конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  не должны существенно ослаблять переменную составляющую (полезный сигнал), значения их ёмкостей для всех типов усилительных каскадов:

$$C1 = \frac{5 \dots 10}{2\pi f_{н.гр.} R_{BX}}; \quad C2 = \frac{5 \dots 10}{2\pi f_{н.гр.} R_{ВЫХ} + R_H},$$

где  $f_{н.гр.}$  – нижняя граничная частота усиливаемого сигнала.

Ёмкостные сопротивления шунтирующих конденсаторов  $C_Э, C_Б, C_{И}$  на низшей частоте  $f_{н.гр.}$  усиливаемого сигнала должны быть на порядок меньше сопротивлений резисторов, которые они шунтируют, поэтому для схемы УК с ОЭ с эмиттерной стабилизацией (рис. 5.1.1.1)

$$C_Э = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{н.гр.} R_Э};$$

для схемы УК с ОБ (рис. 5.1.1.2)

$$C_Б = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{н.гр.} R1 || R2};$$

для схемы УК на ПТУП с общим истоком (рис. 5.1.3.1, а)

$$C_{И} = \frac{10 \dots 50}{2\pi f_{н.гр.} R_{И}}.$$

## 5.2 Расчёт источника питания

Расчёт источника питания начинают с расчёта стабилизатора напряжения. Исходными данными для его расчёта являются напряжение питания,  $U_{\Pi}$ , заданное при расчёте электронного устройства, и полный ток  $I_{\Pi}$ , потребляемый от источника питания электронным устройством.

Далее рассчитывают фильтрующее устройство, для которого входное напряжение и входной ток стабилизатора напряжения являются исходными параметрами.

Затем определяют необходимые параметры (средний прямой ток  $I_{\text{ПР ср.}}$  и обратное напряжение  $U_{\text{ОБР max.}}$ ) для выбора диодов вентиляльного блока.

На рисунке 5.2.1 показаны параметрические стабилизаторы напряжения (ПСН) различных типов. Выход ПСН подключается между точками питания и общего провода, поэтому выходное напряжение  $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\Pi}$ , а выходной ток  $I_{\text{ВЫХ}} = I_{\Pi}$ .

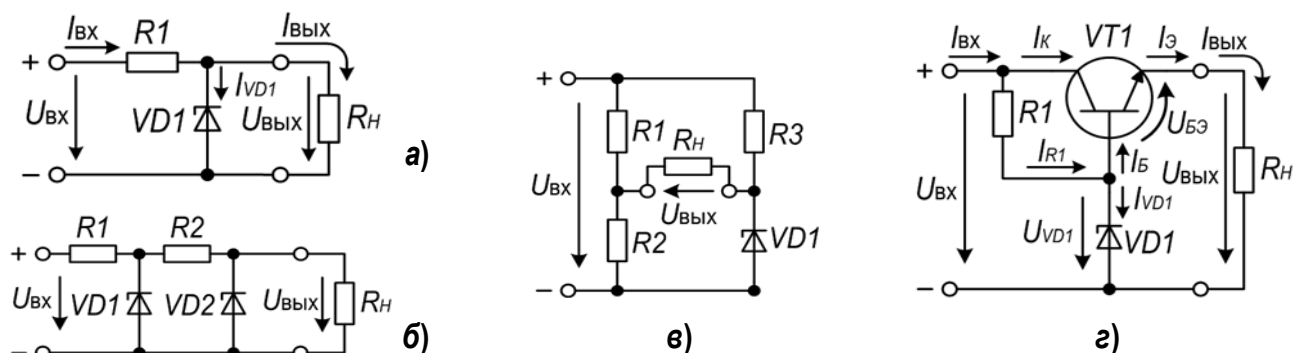


Рисунок 5.2.1 – Параметрические стабилизаторы напряжения (ПСН): однокаскадный (а) и двухкаскадный (б) параллельного типа; мостовой (в); последовательного типа (г)

Требования к параметрам используемых стабилитронов приведены в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1

Тип ПСН	Напряжение стабилизации	Рабочий ток стабилитрона
однокаскадный	$U_{\text{СТ}}^{\text{VD}} = U_{\text{ВЫХ}}$ ;	$I_{\text{СТ}}^{\text{VD}} \geq I_{\text{ВЫХ}}$ ;
многоступенчатый	$U_{\text{СТ}}^{\text{VD2}} = U_{\text{ВЫХ}}$ ; $U_{\text{СТ}}^{\text{VD1}} = U_{\text{СТ}}^{\text{VD2}} + U_{R2}$ ;	$I_{\text{СТ}}^{\text{VD2}} \geq I_{\text{ВЫХ}}$ ; $I_{\text{СТ}}^{\text{VD1}} \geq I_{\text{СТ}}^{\text{VD2}} + I_{\text{ВЫХ}}$ ;
мостовой	$U_{\text{СТ}}^{\text{VD}} = U_{\text{ВЫХ}} + U_{R2}$ ;	$I_{\text{СТ}}^{\text{VD}} \geq I_{\text{ВЫХ}}$ ;
последовательный	$U_{\text{СТ}}^{\text{VD}} = U_{\text{ВЫХ}} + U_{\text{БЭ}}^{\text{VT}}$ ;	$I_{\text{СТ}}^{\text{VD}} \geq \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{h_{21\text{э}}^{\text{VT}}}$ ,

где  $U_{R2}$  – падение напряжения на резисторе R2;  $U_{\text{БЭ}}^{\text{VT}}$  – напряжение между базой и эмиттером транзистора VT;  $h_{21\text{э}}^{\text{VT}}$  – коэффициент передачи базового тока транзистора.

Следует также проверить выполнение условия  $P_{\text{max доп.}}^{\text{VD}} > I_{\text{СТ}}^{\text{VD}} \cdot U_{\text{СТ}}^{\text{VD}}$ .

Если не удастся выбрать стабилитрон с необходимым рабочим током, то можно включать стабилитроны одного типа параллельно, в этом случае рабочий ток удвоится.

Для увеличения напряжения стабилизации стабилитроны можно включать последовательно, но в этом случае коэффициент стабилизации может уменьшиться.

Входное напряжение и входной ток ПСН разных типов приведены в таблице 5.2.2

Таблица 5.2.2

Тип ПСН	Входное напряжение	Входной ток
однокаскадный	$U_{BX} = U_{R1} + U_{CT}^{VD}$ ;	$I_{BX} = I_{CT}^{VD} + I_{ВЫХ}$ ;
многоступенчатый	$U_{BX} = U_{R1} + U_{CT}^{VD1}$ ;	$I_{BX} = I_{CT}^{VD1} + I_{CT}^{VD2} + I_{ВЫХ}$ ;
мостовой	$U_{BX} = U_{R3} + U_{CT}^{VD}$ ;	$I_{BX} = I_{R1} + I_{CT}^{VD} + I_{ВЫХ}$ ;
последовательный	$U_{BX} = U_{R1} + U_{CT}^{VD}$ ;	$I_{BX} = I_{CT}^{VD} + I_{ВЫХ}$ .

Параметры ПСН разных типов приведены в таблице 5.2.3

Таблица 5.2.3

Тип ПСН	Коэффициент стабилизации	Выходное сопротивление
однокаскадный	$K_{CTU} \approx \frac{U_{ВЫХ\ ном.}}{U_{BX\ ср.}} \cdot \frac{R_1}{r_{VD} \parallel R_1 \parallel R_H}$ ;	$r_{ВЫХ} \approx r_{VD} \parallel R_1$ ;
многоступенчатый	$K_{CTU} \approx \frac{U_{ВЫХ\ ном.}}{U_{BX\ ср.}} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{r_{VD1} \cdot r_{VD2}}$ ;	$r_{ВЫХ} \approx r_{VD2}$ ;
мостовой	$K_{CTU} \approx \frac{U_{ВЫХ\ ном.}}{U_{BX\ ср.}} \cdot \frac{1}{\frac{r_{VD1}}{r_{VD1} + R_3} - \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$ ;	$r_{ВЫХ} \approx r_{VD} + R_2$ ;
последовательный	$K_{CTU} \approx \frac{U_{ВЫХ\ ном.}}{U_{BX\ ср.}} \cdot \frac{R_1}{r_{VD1}}$ ;	$r_{ВЫХ} \approx \frac{h_{11e} + r_{VD1}}{1 + h_{21э}}$ .

## Рекомендуемая литература

### Основная литература

1. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М. : КНОРУС, 2013. – 800 с.
2. Ровдо, А.А. Схемотехника усилительных каскадов на биполярных транзисторах / А.А. Ровдо. – М. : Издательский дом «Додэка XXI», 2008. – 256 с.
3. Валенко, В.С. Электроника и микросхемотехника / В.С. Валенко, М.С. Хандогин. – Минск : Бестпринт, 2003. – 320 с.
4. Бойко, В.И. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства / В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков, А.А. Зори, В.М. Спивак. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – С. 496.
5. Павлов, В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : Учебник для вузов / В. Н. Павлов, В. Н. Ногин . – 2-е изд. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2001 . – 320 с.
6. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника : Учебник для вузов / Ю. Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 768 с.
7. Изъюрова, Г.И. Расчет электронных схем. Примеры и задачи : Учеб. пособие для вузов по спец. электрон. техники / Г.И. Изъюрова [и др.]. – М. : Высш. школа, 1987. – 335 с.
8. Усатенко, С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : Справочник / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство стандартов, 1992.

### Дополнительная литература

9. Наундорф, У. Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование/ Уве Наундорф. – М.: Техносфера, 2008. – 472 с.
10. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника. / У. Титце, К.Шенк; пер. с нем. – Том I. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 832 с.
11. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника. / У. Титце, К.Шенк; пер. с нем. – Том II. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 942 с.
12. Хоровиц, П. Искусство схемотехники. / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. Б. Н. Бронин [и др.]; – М. : Мир, 2001. – 704 с.
13. Прянишников, В.А. Электроника : курс лекций / В.А. Прянишников. – СПб. : Корона принт, 2004. 416 с.
14. Ткаченко, Ф.А. Электронные приборы и устройства: учебник для студ. вузов / Ф. А. Ткаченко. – Минск ; М. : Новое знание : ИНФРА-М, 2011. – 682 с.
15. Ровдо, А.А. Полупроводниковые диоды и схемы с диодами / А.А. Ровдо. –М. : Лайт Лтд., 2000. – 288 с.
16. Костиков, В.Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: Учебник для вузов / В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов, В.А. Шахнов. – М. : Горячая линия -Телеком, 2001. – 344 с.
17. Амелина, М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 / М.А. Амелина, С.А. Амелин. – Смоленск: Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013. – 618 с.

## Приложение А

(Справочное)

### Пример оформления реферата

#### Реферат

Курсовая работа содержит ...с., ... рис., ... табл., ... источников, ... прил., ...л. графического материала.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** транзисторный усилитель, биполярный транзистор, амплитудно-частотная характеристика, источник питания, стабилизатор напряжения.

Разработан транзисторный усилитель с полосой рабочих частот ..., коэффициентом передачи по напряжению ... дБ и уровнем выходного сигнала ...В. Проведено макетирование и испытание усилителя (протокол испытаний прилагается). Разработан вторичный источник электропитания (ВИЭП) с выходным напряжением ...В и мощностью ...Вт. Разработаны печатные платы для транзисторного усилителя и ВИЭП.

Курсовая работа выполнена с использованием текстового редактора ..., схемы электрические принципиальные и печатные платы выполнены с помощью .... Исследование параметров и характеристик транзисторного усилителя проводилось с помощью ....

**Приложение Б**  
(Обязательное)

**Основные надписи пояснительной записки курсовой работы**

					<b>1-53 01 01.АТП-15.КР.ЭЗ</b>								
					<b>Транзисторный усилитель Схема электрическая принципиальная</b>			Лит.	Масса	Масшт.			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				у					
Разраб.		Иванов И.И.						Лист 1			Листов 1		
Руков.		Петров П.П.											
Консульт.													
Н. Контр.													
Утв.					<b>БрГТУ, АТПиП</b>								

а) основная надпись (форма 1) первого листа чертежей и схем

					<b>1-53 01 01.АТП-15.КР.ПЗ</b>								
					<b>Пояснительная записка</b>			Лит.	Лист	Листов			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				1			28		
Разраб.		Иванов И.И.											
Руков.		Петров П.П.											
Консульт.													
Н. Контр.													
Утв.					<b>БрГТУ, АТПиП</b>								

б) основная надпись (форма 2) первый лист текстового документа

					<b>1-53 01 01.АТП-15.КР.ПЭЗ</b>			<i>Лист</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>						
								2		

в) основная надпись (форма 2а) второй и последующие листы чертежей и схем

								<i>Лист</i>
								2

г) второй и последующие листы текстового документа (пояснительной записки)

# Приложение В (Справочное)

## Условные графические обозначения в схемах

<p><b>Резистор постоянный</b></p>	<p><b>Резистор постоянный</b></p>	<p><b>Резистор переменный</b></p>	<p><b>Резистор переменный сдвоенный</b></p>
<p><b>Резистор подстроечный</b></p>	<p><b>Резисторы нелинейные: терморезистор и варистор</b></p>	<p><b>Конденсатор постоянной емкости</b></p>	<p><b>Конденсаторы оксидные полярный и неполярный</b></p>
<p><b>Конденсатор подстроечный</b></p>	<p><b>Конденсатор переменной емкости (КПЕ)</b></p>	<p><b>Катушка индуктивности, дроссель (L3 – с отводами)</b></p>	<p><b>Катушка, дроссель с магнитопроводом (L7 – с медным)</b></p>
<p><b>Трансформатор с тремя обмотками и электроста- тическим экраном</b></p>	<p><b>Диод, диодный мост</b></p>	<p><b>Стабилитрон (VD8 – двуханодный)</b></p>	<p><b>Диод Шоттки (VD9), ограничительный (VD10), варикап (VD11)</b></p>
<p><b>Динистор (VS1), тринистор (VS2, VS3), симистор (VS4)</b></p>	<p><b>Транзистор p-n-p</b></p>	<p><b>Транзистор n-p-n</b></p>	<p><b>Транзистор однопереходный</b></p>

# Приложение В (Продолжение)

<p>Транзистор полевой с р-каналом</p>	<p>Транзистор полевой с изолированным затвором и р-каналом</p>	<p>Транзистор полевой с двумя изолированными затворами и п-каналом</p>	<p>Фоторезистор</p>
<p>Фото- и светодиод</p>	<p>Фототранзистор</p>	<p>Оптрон резисторный</p>	<p>Оптрон диодный</p>
<p>Оптрон тиристорный</p>	<p>Оптрон транзисторный</p>	<p>Усилитель операционный</p>	<p>Элементы логические</p>
<p>Элементы логические DD5.1 DD6.1 DD7.1 DD8.1</p>	<p>D-триггер DD8.1</p>	<p>Штырь и гнездо разъемного соединителя (XW1-XW4 – коаксиального)</p>	<p>Вилка и розетка разъемного соединителя (XP1-XS1, X1, X2)</p>
<p>Контакты разборного и неразборного соединений XT1-XT4</p>	<p>Ответвления линий электрической связи</p>	<p>Элемент гальванический, аккумуляторный, батарея элементов</p>	<p>Соединение с общим проводом (корпусом), заземление</p>



**Приложение Г**  
(Справочное)

**Пример оформления перечня элементов**

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание				
<i>Конденсаторы</i>							
C1	K50-35-65B-1мкФ-±20%	1					
C2	K50-35-65B-68мкФ-±20%	1					
C3	K50-35-65B-25мкФ-±20%	1					
C4	K50-35-65B-30мкФ-±20%	1					
<i>Резисторы</i>							
R1	МЛТ-0,25Вт-33кОм±5%	1					
R2	МЛТ-0,25Вт-15 кОм±5%	1					
R3	МЛТ-0,25Вт-3 кОм±5%	1					
R4	МЛТ-0,25Вт-15 кОм±5%	1					
R5	МЛТ-0,25Вт-1.8 кОм±5%	1					
R6	МЛТ-0,25Вт-1.5 кОм±5%	1					
R7	МЛТ-0,25Вт-5.6 Ом±5%	1					
R8	МЛТ-0,25Вт-180 Ом±5%	1					
<i>Транзисторы</i>							
VT1	КТ315А	1					
VT2	КТ503А	1					
1-53 01 01.АТП-15.КР.ПЭЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<p align="center"><b>Транзисторный усилитель</b> <b>Перечень элементов.</b></p> <p align="center">БрГТУ, АТПиП</p>		
Разраб.	Иванов И.И.						
Руков.	Петров П.П.						
Консульт.							
Н. Контр.							
Утвержд.							

## Приложение Д (Справочное)

### Ряд E24 номинальных значений сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов

E24	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Номинальные значения сопротивлений (ёмкостей) соответствуют числам в приведённой таблице или числам, полученным умножением или делением этих чисел на  $10^n$ , где  $n$  – целое положительное или отрицательное число.

Например, если в результате расчётов получены следующие значения:

$R = 315 \text{ Ом}$  – принимаем  $R = 300 \text{ Ом}$  (E24), либо  $R = 330 \text{ Ом}$  (E24);  
 $R = 9685 \text{ Ом}$  – принимаем  $R = 9,1 \text{ кОм}$  (E24), либо  $R = 10 \text{ кОм}$  (E24);  
 $C = 0,487 \text{ мкФ}$  – принимаем  $C = 0,47 \text{ мкФ}$  (E24), либо  $C = 0,51 \text{ мкФ}$  (E24).

Выбор того или иного номинального значения обусловлен местом включения резистора или конденсатора в схему электронного устройства. Как правило, если резисторы включены последовательно (например, в делителе напряжения), то значения их сопротивлений принимают либо большими, либо меньшими одновременно. Значения ёмкостей конденсаторов в усилительных каскадах чаще всего выбирают большими.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 ТЕМАТИКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	3
2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	3
3 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ .....	4
3.1 Реферат .....	4
3.2 Содержание .....	4
3.3 Введение .....	4
3.4 Основная часть .....	4
3.5 Заключение .....	5
3.6 Приложения .....	5
4 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	5
4.1 Оформление пояснительной записки .....	6
4.2 Оформление графической части .....	7
4.3 Список использованных источников .....	8
5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	9
5.1 Расчёт электронного усилителя на транзисторах .....	9
5.1.1 Расчёт усилительного каскада на биполярном транзисторе .....	10
5.1.2 Расчёт усилительного каскада на полевом транзисторе .....	13
5.1.3 Расчёт ёмкостей конденсаторов .....	17
5.2 Расчёт источника питания .....	18
Рекомендуемая литература .....	20
Приложение А .....	21
Приложение Б .....	22
Приложение В .....	23
Приложение Г .....	25
Приложение Д .....	26

Учебное издание

Составитель:  
**Смаль Александр Сергеевич**

## **ЭЛЕКТРОНИКА**

### **Методические указания**

к выполнению курсовой работы  
для студентов специальности

1 – 53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Ответственный за выпуск: Смаль А. С.  
Редактор: Боровикова Е. А.  
Корректор: Никитчик Е. В.  
Компьютерная вёрстка: Митлошук М. А.

---

Подписано к печати 16.10.2020 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Performer».

Уч. изд. л.1,75. Усл.п.л. 1,63. Тираж 21 экз. Заказ № 950.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.