МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ПОВОЛЖСКИЙ ГоСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

М.И. Бастракова

А.Н. ДЕДОВ

А.Ю. Чернышев

схемотехника телекоммуникационных устройств

Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов направления 210700.62«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Йошкар-Ола

2013

УДК 621.382.322 (075)

***Рецензент***: к.т.н., доцент кафедры радиотехнических и медико-биологических систем А.О. Евдокимов, ПГТУ

*Печатается по решению  
редакционно-издательского совета ПГТУ*

**Бастракова М.И.**

Б 49 **Схемотехника телекоммуникационных устройств:** Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов направления 210400.62, / М.И. Бастракова, А.Н. Дедов, А.Ю. Чернышев. - Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. - 28 с.

Приведены варианты заданий и исходные данные для проектирования и расчета усилительных устройств, активных RC-фильтров и цифровых устройств. Сформулированы общие требования к содержанию и оформлению курсовой работы. Содержатся рекомендации по выбору и расчету режима работы транзисторов по постоянному току.

**УДК 621.382.322 (075)  
ББК 32.849**

© Бастракова М.И., 2013

© Дедов А.Н., 2013

© Чернышев А. Ю., 2013

© Поволжский государственный  
технологический университет, 2013

#### ОГЛАВЛЕНИЕ

[Предисловие 4](#_Toc372792388)

[1. Исходные данные для выполнения курсовой работы 6](#_Toc372792388)

[2. Основные методы расчета аналогового электронного устройства 14](#_Toc372792388)

[2.1 Особенности выбора рабочей точки активного элемента 14](#_Toc372792388)

[2.2 Расчет режима расчета активного элемента по постоянному току 16](#_Toc372792388)

[3. Требования к содержанию и оформлению курсовой работы 22](#_Toc372792388)

[4. График выполнения курсовой работы 24](#_Toc372792388)

[Библиографический список 25](#_Toc372792388)

**предисловие**

Данные методические указания предназначены прежде всего для студентов направления 210700.62 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профиля «Радиосвязь и радиодоступ», выполняющих курсовую работу по дисциплине «Схемотехника телекоммуникационных устройств». В то же время они могут быть рекомендовано студентам и других направлений и специальностей радиотехнического факультета. Выполнение курсовой работы является важным этапом изучения дисциплины “Схемотехника телекоммуникационных устройств”.

***Основные цели выполнения курсовой работы:***

ознакомление студентов с принципами построения, техническими требованиями, характеристиками и электрическими схемами аналоговых электронных устройств, в том числе усилителей различного назначения и активных RC-фильтров, применяемых при построении телекоммуникационных устройств;

приобретение студентами навыков самостоятельного проектирования, анализа и расчета аналоговых электронных устройств, а также принципов работы и схем некоторых цифровых устройств.

При выполнении курсовой работы студенты должны решить следующие ***задачи***:

при проектировании усилительных устройств:

1. выбрать и обосновать электрическую принципиальную схему усилительного устройства (усилителя);
2. выполнить предварительный (эскизный) расчет усилителя;
3. определить оптимальные режимы работы активных элементов и выполнить расчет всех каскадов усилителя по постоянному и переменному токам;
4. разработать или подобрать схему аналогичного усилителя в интегральном исполнении;

при проектировании активных RC-фильтров:

1. синтезировать электрические принципиальные схемы активных фильтров нижних и верхних частот, а также полоснопропускающих (полосовых) и режекторных фильтров;
2. рассчитать параметры пассивных компонентов активных фильтров.

рассмотреть схемы и принцип работы цифровых элементов, применяемых при построении телекоммуникационных устройств

**1. Исходные данные для выполнения  
курсовой работы**

Каждый студент в рамках курсовой работы должен в соответствии с индивидуальным заданием разработать усилительное устройство определенного назначения, четыре типа активных фильтров на основе операционного усилителя и описать схему и принцип работы цифрового элемента или устройства.

Исходные данные для проектирования и расчета ***усилителей*** различных типов обычно содержат сведения:

1. об источнике сигнала, в том числе выходное сопротивление генератора и параметры входного сигнала (форма, полярность, амплитуда или размах, временные параметры);
2. о нагрузке усилителя (активная и реактивная составляющие сопротивления);
3. о характере и параметрах выходного сигнала;
4. о допустимых искажениях сигнала, в том числе о допустимых искажениях временных параметров для импульсных сигналов и величине допустимых линейных (частотных) и нелинейных искажений для аналоговых сигналов;
5. об условиях эксплуатации (диапазон рабочих температур).

Исходные данные для разработки усилителей мощности низкой частоты приведены в таблице 1, линейных усилителей низкой частоты - в таблице 2, усилителей постоянного тока - в таблице 3, импульсных усилителей - в таблице 4.

Исходные данные для проектирования и расчета ***активных фильтров*** различных типов обычно содержат следующие сведения:

1. вид амплитудно-частотной характеристики (АЧХ);
2. частоты среза АЧХ;
3. коэффициент передачи и его неравномерность в полосе пропускания.

Исходные данные для разработки всех типов активных фильтров приведены в таблице 5.

Таблица 1

**Исходные данные для разработки усилителей мощности низкой частоты**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Номер варианта | | | | | | | | | |
| усилителя | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Выходная мощность, Вт | 10 | 20 | 25 | 12,5 | 5 | 1,5 | 10 | 4 | 15 | 1,2 |
| Диапазон звуковых частот: |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Fн, Гц | 50 | 200 | 250 | 100 | 50 | 100 | 250 | 300 | 100 | 50 |
| Fв, кГц | 7 | 10 | 5 | 12 | 5 | 7 | 6 | 5 | 9 | 12 |
| Коэффициент гармоник, %,  не более | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 3,5 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 3,5 | 3,0 |
| Допустимые частотные искажения | 1,44 | 1,44 | 1,18 | 1,18 | 1,44 | 1,44 | 1,18 | 1,44 | 1,18 | 1,44 |
| Температура окружающей среды, °С | 35 | 25 | 40 | 30 | 25 | 30 | 35 | 40 | 30 | 25 |

Таблица 2

**Исходные данные для разработки линейных усилителей низкой частоты**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Номер варианта | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| усилителя | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Амплитуда входного напряжения, мВ | 15 | 5 | 10 | 12 | 20 | 10 | 5 | 15 | 4 | 10 |
| Амплитуда выходного напряжения, В | 2,0 | 5,0 | 4,0 | 2,0 | 8,0 | 6,0 | 1,0 | 5,0 | 4,0 | 2,5 |
| Сопротивление нагрузки, Ом | 1500 | 600 | 1200 | 200 | 4000 | 2800 | 1500 | 300 | 1800 | 500 |
| Диапазон звуковых частот: |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Fн, Гц | 50 | 100 | 100 | 100 | 20 | 40 | 100 | 50 | 200 | 150 |
| Fв, кГц | 20 | 16 | 15 | 30 | 7 | 25 | 15 | 10 | 12 | 15 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Допустимые частотные искажения | 1,44 | 1,18 | 1,44 | 1,25 | 1,18 | 1,44 | 1,44 | 1,18 | 1,18 | 1,20 |
| Температура окружающей среды, °С | 25 | 25 | 20 | 35 | 40 | 25 | 20 | 30 | 20 | 25 |

Таблица 3

**Исходные данные для разработки усилителей постоянного тока**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Номер варианта | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| усилителя | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Напряжение питания, В | 12 | 10 | 15 | 12 | 10 | 15 | 10 | 12 | 9 | 12 |
| Приращение входного напряжения, мВ | 5 | 4 | 10 | 12 | 5 | 20 | 10 | 25 | 6 | 12 |
| Приращение выходного напряжения, В | 1,5 | 2,4 | 3,0 | 6,0 | 3,5 | 4,0 | 3,0 | 5,0 | 2,4 | 6,0 |
| Сопротивление нагрузки, Ом | 1500 | 500 | 1200 | 600 | 1000 | 1200 | 200 | 1800 | 1500 | 1000 |
| Выходное напряжение в режиме покоя, В | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 6 | 6 | 5 | 0 |
| Температура окружающей среды, °С | 25 | 20 | 25 | 25 | 20 | 30 | 35 | 25 | 25 | 30 |

Таблица 4

**Исходные данные для разработки импульсных усилителей**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Номер варианта | | | | | | | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| усилителя | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Амплитуда входных импульсов, мВ | 4 | 10 | 12 | 25 | 15 | 6 | 10 | 8 | 20 | 5 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Внутреннее сопротивление источника, Ом | 200 | 1200 | 400 | 1000 | 1500 | 100 | 2500 | 10000 | 5000 | 300 |
| Полярность входных импульсов (знак) | + | - | + | + | - | - | - | + | - | + |
| Скважность импульсной последоват.-сти | 100 | 200 | 10 | 1000 | 100 | 250 | 500 | 20 | 1000 | 150 |
| Длительность импульсов, мкс | 20 | 30 | 25 | 40 | 100 | 15 | 50 | 400 | 800 | 500 |
| Входное сопротивление усилителя, кОм | 1,2 | 1,5 | 2,5 | 1,0 | 1,2 | 0,9 | 0,5 | 2,5 | 0,4 | 0,5 |
| Полярность выходных импульсов (знак) | + | + | - | + | + | - | + | - | + | - |
| Амплитуда (размах) выходных импульсов, В | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 8,0 | 10,0 | 9,0 | 7,0 | 5,0 | 3,0 | 1,0 |
| Нагрузка: |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Rн, кОм | 1,2 | 0,4 | 1,5 | 1,2 | 0,6 | 1,7 | 1,5 | 2,5 | 10,0 | 0,5 |
| Сн, пФ | 7 | 10 | 15 | 25 | 7 | 10 | 9 | 6 | 15 | 25 |
| Время установления импульсов, нс | 45 | 70 | 90 | 35 | 100 | 40 | 50 | 30 | 60 | 25 |
| Допустимый выброс вершины, % | 3,0 | 2,0 | 2,5 | 1,5 | 1,0 | 1,5 | 1,2 | 2,4 | 2,0 | 1,2 |
| Допустимый спад вершины, % | 5,0 | 6,0 | 2,0 | 4,0 | 3,0 | 5,0 | 2,5 | 5,5 | 3,0 | 3,5 |
| Температура окружающей среды, °С | 10- -25 | 20- -50 | 15- -35 | 10- -50 | 15- -60 | 20- -70 | 10- -40 | 0- -35 | 5- -45 | 0- -40 |

Таблица 5

**Исходные данные для расчета активных фильтров**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер | Данные для расчета ФНЧ и ФВЧ | | | | | | ППФ и РФ | | |
| варианта | ТХ | χ, дБ | ПФ | d, дБ | fс,МГц | К | fн,МГц | fв,МГц | К |
| 1 | Бт | 1,414 | 2 | 3,0 | 0,015 | 10 | 0,3 | 0,4 | 15 |
| 2 | Бс | 1,732 | 2 | 2,0 | 2,5 | 20 | 5,0 | 6,0 | 20 |
| 3 | Чб | 1,578 | 2 | 0,5 | 1,0 | 10 | 0,1 | 0,2 | 10 |
| 4 | Чб | 1,059 | 2 | 1,0 | 5,0 | 15 | 0,01 | 0,015 | 15 |
| 5 | Чб | 0,886 | 2 | 2,0 | 1,0 | 20 | 3,0 | 4,0 | 25 |
| 6 | Чб | 0,766 | 2 | 3,0 | 2,0 | 10 | 1,0 | 2,0 | 10 |
| 7 | Бт | 1,414 | 2 | 1,0 | 0,5 | 10 | 0,2 | 0,3 | 20 |
| 8 | Бс | 1,732 | 2 | 2,0 | 1,0 | 15 | 0,8 | 1,0 | 20 |
| 9 | Чб | 1,578 | 2 | 0,5 | 0,6 | 8 | 5,0 | 6,0 | 15 |
| 10 | Чб | 0,886 | 2 | 2,0 | 1,0 | 20 | 0,25 | 0,35 | 20 |
| 11 | Бт | 1,414 | 2 | 1,0 | 2,5 | 25 | 0,7 | 0,9 | 25 |
| 12 | Бт | 1,414 | 2 | 0,5 | 3,5 | 10 | 1,0 | 2,0 | 10 |
| 13 | Чб | 1,578 | 2 | 0,5 | 3,5 | 10 | 0,1 | 0,2 | 5 |
| 14 | Чб | 1,059 | 2 | 1,0 | 1,0 | 20 | 3,0 | 4,0 | 10 |
| 15 | Чб | 0,886 | 2 | 2,0 | 0,2 | 15 | 0,01 | 0,02 | 10 |
| 16 | Чб | 0,766 | 2 | 3,0 | 0,5 | 5 | 0,5 | 0,6 | 20 |
| 17 | Бт | 1,414 | 2 | 1,5 | 1,5 | 10 | 0,8 | 0,9 | 25 |
| 18 | Бт | 1,414 | 2 | 1,0 | 5,0 | 20 | 5,0 | 6,0 | 15 |
| 19 | Бс | 1,732 | 2 | 3,0 | 10,0 | 10 | 3,0 | 4,0 | 20 |
| 20 | Бс | 1,732 | 2 | 2,0 | 1,0 | 20 | 2,0 | 3,0 | 20 |
| 21 | Бт | 1,414 | 2 | 2,0 | 0,8 | 15 | 1,0 | 3,0 | 10 |
| 22 | Чб | 1,578 | 2 | 0,5 | 1,0 | 20 | 3,0 | 4,0 | 25 |
| 23 | Чб | 1,059 | 2 | 1,0 | 5,0 | 15 | 0,2 | 0,3 | 10 |
| 24 | Чб | 0,886 | 2 | 2,0 | 2,5 | 10 | 0,8 | 0,9 | 20 |
| 25 | Чб | 0,766 | 2 | 3,0 | 1,0 | 10 | 0,25 | 0,35 | 20 |
| 26 | Бт | 1,414 | 2 | 3,5 | 15,0 | 25 | 0,7 | 0,9 | 25 |
| 27 | Бт | 1,414 | 2 | 1,0 | 10,0 | 10 | 3,0 | 4,0 | 10 |
| 28 | Бс | 1,732 | 2 | 2,0 | 2,5 | 20 | 0,01 | 0,02 | 20 |
| 29 | Бс | 1,732 | 2 | 1,0 | 10,0 | 10 | 0,5 | 0,6 | 15 |
| 30 | Чб | 0,766 | 2 | 3,0 | 0,5 | 5 | 0,3 | 0,4 | 20 |

**Примечание к таблице 5.**

В таблице 5 использованы следующие условные обозначения и сокращения:

ТХ - тип амплитудно-частотной характеристики фильтра:

Бт - характеристика Баттерворта;

Бс - характеристика Бесселя;

Чб - характеристика Чебышева;

χ - коэффициент затухания фильтра;

ПФ - порядок фильтра;

d - неравномерность амплитудно-частотной характеристики;

fс - частота среза фильтра нижних частот (ФНЧ) ФНЧ или фильтра верхних частот (ФВЧ);

fн и fв - соответственно, верхняя и нижняя частоты среза режекторного фильтра (РФ) или полоснопропускающего фильтра (ППФ);

К - коэффициент усиления.

Исходные данные по третьей части курсовой работы приведены в таблице 6.

Таблица 6

**Исходные данные для цифрового элемента или устройства**

|  |  |
| --- | --- |
| Номер варианта | Цифровое устройство |
| 1 | Комбинационные цифровые устройства. Дешифраторы. |
| 2 | Комбинационные цифровые устройства. Шифраторы. |
| 3 | Комбинационные цифровые устройства. Мультиплексоры. |
| 4 | Комбинационные цифровые устройства. Демультиплексоры. |
| 5 | Комбинационный сумматоры. |
| 6 | Цифровой компараторы. |
| 7 | Асинхронный RS-триггер. |
| 8 | Синхронный RS-триггер. |
| 9 | D-триггер. |
| 10 | Т-триггер. |
| 11 | JK-триггер. |
| 12 | Последовательный регистр. |
| 13 | Параллельный регистр. |
| 14 | Двоичные счетчики. |
| 15 | Сумматоры. |
| 16 | Полупроводниковые запоминающие устройства (ЗУ). |
| 17 | Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ). |
| 18 | Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ). |
| 19 | Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). |
| 20 | Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). |
| 21 | Базовые логические элементы (БЛЭ) на транзисторно-транзисторной логике. |
| 22 | Базовые логические элементы (БЛЭ) интегрально-инжекторной логике. |
| 23 | Логика на однотипных полевых транзисторах. |
| 24 | Логика на комплементарных полевых транзисторах (КМОП). |
| 25 | Классификация и основные параметры логических элементов. |

Для цифрового элемента или устройства необходимо:

описать назначение, основные характеристики и принцип работы;

привести электрическую схему.

**2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА  
АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

***2.1. Особенности выбора рабочей точки активного элемента***

Одним из важных этапов проектирования и расчета усилительного или преобразовательного каскада является выбор так называемой рабочей точки, определяющей состояние активного элемента (АЭ) в стационарном режиме покоя, т.е. при отсутствии входного сигнала. В частности, для биполярных транзисторов этот режим однозначно задается системой следующих постоянных токов и напряжений:

*U*кэ0 - постоянная разность потенциалов (напряжение) на переходе “коллектор-эмиттер”;

*I*к0 - постоянная составляющая тока коллектора;

*U*бэ0 - постоянное напряжение на переходе “база-эмиттер”;

*I*б0 - постоянная составляющая тока базы.

Требуемые значения указанных величин (*параметры рабочей точки*) обеспечиваются цепями питания и смещения АЭ, причем напряжение питания всегда подводится к выходному электроду относительно общего электрода, а напряжение смещения - к входному. Параметры рабочей точки выбираются с учетом класса работы усилителя (преобразователя). В литературе широко представлены и детально рассмотрены методики расчета усилителей, основанные на точном знании входных и выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ) АЭ. В современных справочных изданиях эти характеристики зачастую не приводятся. Поэтому ниже приводится методика выбора параметров рабочей точки биполярного транзистора без точного знания его ВАХ, которую можно обобщить также на другие АЭ (электронные лампы, полевые транзисторы).

В качестве маломощных предварительных каскадов, как правило, используются *усилители класса А*. В них АЭ работает в линейном режиме (режиме А) без отсечки выходного тока (или при угле отсечки θ=180°), и должно выполняться условие

*U*нас+*k*⋅*U*max≤*U*кэ0≤*Е*п-*k*⋅*U*max, (1.1)

где *Е*п - напряжение источника питания; *U*max - амплитуда (максимальное абсолютное значение или изменение) выходного напряжения; *U*нас - напряжение насыщения АЭ; *k* - коэффициент запаса. Из (1.1) видно, что реализация линейного режима работы АЭ зависит от значения *Е*п, которое должно удовлетворять условию

*U*нас+2⋅*k*⋅*U*max≤*Е*п<*U*кэmax, (1.2)

где *U*кэmax - максимально допустимое напряжение на переходе “коллектор-эмиттер”. При выборе *Е*п и *U*кэ0 по (1.1) и (1.2) рекомендуется обеспечивать некоторый запас, для чего в расчетах следует использовать *k*=(1,1÷1,3). Кроме того, рекомендуется выбирать *Е*п из стандартного ряда напряжений (например, 3,0; 4,5; 5,0; 6,3; 9,0; 10,0; 12,0; 12,6 В).

Условие выбора *I*к0 аналогично (1.1) и имеет вид

*I*кбо+*k*⋅*I*max≤*I*к0≤*I*кmax-*k*⋅*I*max, (1.3)

где *I*кбо - обратный ток коллектора; *I*кmax - максимально допустимый ток коллектора; *I*max=*U*max/*R*н - амплитуда (максимальное абсолютное значение или изменение) выходного тока, а *R*н - сопротивление нагрузки.

Постоянная мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора, равна

*Р*к0=*U*кэ0⋅*I*к0 (1.4)

и не должна превышать допустимую рассеиваемую мощность *P*кmax, т.е. должно выполняться условие

*Р*к0<*P*кmax. (1.5)

Если условия (1.1), (1.3), (1.5) соблюдаются, то выбор параметров рабочей точки можно считать верным. Если эти условия не выполняются, следует изменить коэффициент запаса *k*, напряжение питания *Е*п или выбрать АЭ другого типа.

Поскольку линейные усилительные каскады класса А, как правило, работают в режиме малого входного сигнала, для выбора оставшихся параметров *U*бэ0 и *I*б0 можно воспользоваться рекомендациями

*U*бэ0=(0,6÷0,8) В; *I*б0=*I*к0/*h*21э, (1.6)

где *h*21э - коэффициент передачи транзистора по постоянному току (статический коэффициент передачи тока) в схеме с общим эмиттером. Следует отметить, что расчет *I*б0 по (1.6) не всегда оказывается точным, т.к. величина *h*21э в пределах одной серии транзисторов может существенно варьироваться.

2.2. Расчет режима работы активного элемента  
по постоянному току

Наиболее часто для обеспечения требуемого режима работы транзисторов в усилительных и генераторных каскадах применяется схема с эмиттерной термостабилизацией за счет отрицательной обратной связи по току, показанная на рис. 1.

Баланс токов и напряжений в данной схеме, в том числе в режиме покоя, определяется системой выражений, составленных на основе 1-го и 2-го законов Кирхгофа:

*U*кэ0+*R3*⋅*I*к0+*R4*⋅*I*э0=*Е*п;

*U*бэ0+*R4*⋅*I*э0=*R2*⋅*I*дел;

*R1*⋅(*I*дел+*I*б0)+*R2*⋅*I*дел=*Е*п;

*I*к0=*h*21э⋅*I*б0; *I*э0=*I*к0+*I*б0, (2.1)

где *h*21э - коэффициент передачи транзистора по постоянному току в схеме с общим эмиттером.

Коэффициент стабилизации в схеме на рис. 1 пропорционален отношению напряжений *U*э0/*Е*п: чем оно больше, тем выше стабильность режима по постоянному току (режима покоя). Однако чем меньше отношение сопротивлений *R3*/*R4*, тем ниже коэффициент передачи усилительного каскада по напряжению. Поэтому величина отношения *U*э0/*Е*п обычно находится в пределах от 0,05 до 0,3 в зависимости от ширины диапазона рабочих температур. Обычно *U*э0=0,1⋅*Е*п. С учетом этого

*R4*=*U*э0/*I*э0;

*R3*=(*E*п-*U*кэ0-*U*э0)/*I*к0. (2.2)

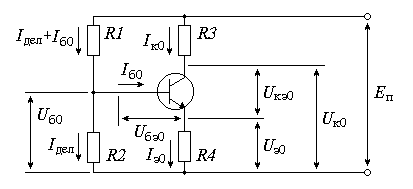


Рис. 1. Схема смещения транзистора  
с эмиттерной термостабилизацией

Величина тока делителя *I*дел выбирается таким образом, чтобы минимизировать влияние изменений входного тока (тока базы) в рабочем режиме на величину напряжения смещения *U*бэ0. Этого можно добиться при условии, что *I*дел>>*I*б0. Однако, чрезмерное увеличение тока делителя приводит к уменьшению сопротивлений резисторов *R1* и *R2* и снижению полного входного сопротивления усилительного каскада. Поэтому в мощных каскадах (с большими значениями рабочих токов) обычно соблюдают условие

*I*дел=(2÷5)⋅*I*б0, (2.3а)

в каскадах средней мощности -

*I*дел=(5÷10)⋅*I*б0, (2.3б)

а в каскадах малой мощности -

*I*дел=(10÷100)⋅*I*б0. (2.3в)

Тогда с учетом второго и третьего выражений в (2.1) значения сопротивлений резисторов *R1* и *R2* могут быть рассчитаны по формулам:

*R1*=(*E*п-*U*бэ0-*U*э0)/(*I*дел+*I*б0);

*R2*=(*U*бэ0+*U*э0)/*I*дел. (2.4)

В случаях, когда высокая температурная стабильность режима покоя не требуется, можно использовать схему смещения транзистора с фиксированным потенциалом базы, представленную на рис. 2.

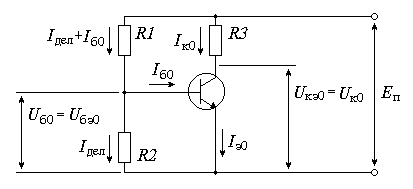


Рис. 2. Схема смещения транзистора  
с фиксированным потенциалом базы

Баланс токов и напряжений в данной схеме в режиме покоя определяется системой уравнений:

*U*кэ0+*R3*⋅*I*к0=*Е*п;

*U*бэ0=*R2*⋅*I*дел;

*R1*⋅(*I*дел+*I*б0)+*R2*⋅*I*дел=*Е*п;

*I*к0=*h*21э⋅*I*б0;

*I*э0=*I*к0+*I*б0. (2.5)

Сопротивление нагрузочного резистора в цепи коллектора определяется по формуле

*R3*=(*E*п-*U*кэ0)/*I*к0. (2.6)

Параметры элементов цепи смещения *R1* и *R2* рассчитываются по выражениям, аналогичным (2.4) и имеющим вид:

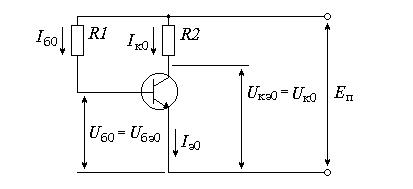
*R1*=(*E*п-*U*бэ0)/(*I*дел+*I*б0);

*R2*=*U*бэ0/*I*дел. (2.7)

При этом условия выбора величины тока делителя *I*дел остаются прежними и определяются одним из выражений (2.3).

В мощных усилительных каскадах, для которых характерны большие токи не только в выходных, но и во входных цепях активных элементов, довольно часто применяется схема смещения с фиксированным током базы, показанная на рис. 3.

Рис. 3. Схема смещения транзистора   
с фиксированным током базы



Для данной схемы справедлива система уравнений электрического баланса вида:

*U*кэ0+*R2*⋅*I*к0=*Е*п;

*U*бэ0+*R1*⋅*I*б0 =*Е*п;

*I*к0=*h*21э⋅*I*б0;

*I*э0=*I*к0+*I*б0. (2.8)

Сопротивление нагрузочного резистора в цепи коллектора определяется по формуле

*R2*=(*E*п-*U*кэ0)/*I*к0. (2.9)

С учетом второго уравнения в (2.8) сопротивление *R1* рассчитывается по формуле

*R1*=(*Е*п-*U*бэ0)/*I*б0. (2.10)

Наряду со схемой с эмиттерной термостабилизацией в радиоэлектронике довольно часто применяется схема с коллекторной термостабилизацией за счет отрицательной обратной связи по напряжению, показанная на рис. 4.

Баланс токов и напряжений в режиме покоя для данной схемы описывается системой уравнений вида:

*U*кэ0+*R3*⋅(*I*к0+*I*дел+*I*б0)=*Е*п;

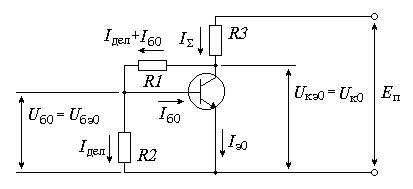
*U*бэ0=*R2*⋅*I*дел;

*R1*⋅(*I*дел+*I*б0)+*R2*⋅*I*дел=*U*кэ0;

*I*к0=*h*21э⋅*I*б0;

*I*э0=*I*к0+*I*б0. (2.11)

Рис. 4. Схема смещения транзистора  
с коллекторной термостабилизацией



Сопротивление нагрузочного резистора в цепи коллектора определяется по формуле

*R3*=(*E*п-*U*кэ0)/(*I*к0+*I*дел+*I*б0). (2.12)

С учетом (2.11) параметры элементов цепи смещения *R1* и *R2* можно рассчитать по следующим формулам:

*R1*=(*U*кэ0-*U*бэ0)/(*I*дел+*I*б0);

*R2*=*U*бэ0/*I*дел. (2.13)

При этом условия выбора величины тока делителя *I*дел остаются прежними.

В некоторых случаях в усилительных каскадах используется схема смещения транзистора, показанная на рис. 5.

Баланс токов и напряжений в режиме покоя для данной схемы описывается системой уравнений вида:

*U*кэ0+*R2*⋅(*I*к0+*I*б0)=*Е*п;

*U*бэ0+*R1*⋅*I*б0 =*U*кэ0;

*I*к0=*h*21э⋅*I*б0;

*I*э0=*I*к0+*I*б0. (2.14)

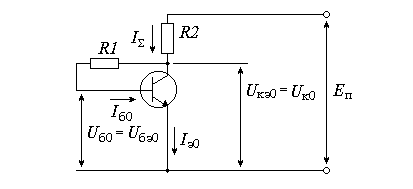
Сопротивление резистора коллекторной нагрузки определяется по формуле

*R2*=(*E*п-*U*кэ0)/(*I*к0+*I*б0). (2.15)

С учетом второго уравнения в системе (2.14) сопротивление резистора *R1* можно рассчитать по формуле

*R1*=(*U*кэ0-*U*бэ0)/*I*б0. (2.16)

Рис. 5. Схема смещения транзистора  
с упрощенной коллекторной термостабилизацией



Достоинством последней схемы является повышенное по сравнению со схемами, показанными на рис. 1-3, полное входное сопротивление.

**3. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВЫХ РАБОТ**

Курсовая работа состоит из пояснительной записки объемом не менее 25 листов и графической части, подшиваемой к пояснительной записке.

Графическая часть проекта должна включать следующие документы, выполненные на листах установленных форматов:

а) схему электрическую принципиальную усилительного устройства на базе дискретных элементов (электронных ламп или транзисторов) с перечнем элементов;

б) схему электрическую принципиальную усилительного устройства на базе интегральных микросхем с перечнем элементов;

в) схемы электрические принципиальные активных RC-фильтров с перечнем элементов.

Также в состав графической части могут входить другие материалы, необходимые для пояснения выполненных расчетов, например, графики вольт-амперных характеристик активных элементов с указанием координат рабочей точки и пределов изменения электрических величин (токов и напряжений). Все чертежи должны быть выполнены в соответствии с ЕСКД в масштабе 1:1 и с высокой контрастностью. При использовании средств компьютерной графики допускаются незначительные отклонения от ЕСКД, связанные с особенностями программного обеспечения.

Пояснительная записка к курсовому проекту должна включать следующие разделы:

а) титульный лист;

б) задание на курсовую работу;

в) содержание;

г) введение, содержащее краткие теоретические сведения о разрабатываемых устройствах;

д) расчетно-теоретическая часть, составленная по результатам выполнения задач, сформулированных в разделе 2;

е) заключение, содержащее анализ результатов разработки и их соответствия условиям задания;

ж) список литературы, составленный в порядке упоминания источников в тексте пояснительной записки;

з) приложение.

Пояснительная записка печатается на пишущей машинке (принтере) через 1,5 интервала или выполняется от руки (пастой или чернилами черного, синего или фиолетового цветов) на одной стороне листа формата А4 (297х210 мм). Высота букв и цифр должна быть не менее 2,5 мм, поле слева - не менее 25 мм, справа - не менее 15 мм. В целом оформление пояснительной записки, представляемой в сшитом виде, должно соответствовать ГОСТ 2.105-95 и 2.304-81. Условные буквенные обозначения математических, физических и других величин должны соответствовать ГОСТ 1494-77, сокращения должны соответствовать ГОСТ 7.12-77.

**4. график выполнения курсовоЙ работы**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Содержание работы | Сроки | | Контр. |  |
| п/п | начало | окончание | срок |
| 1. | Выдача и согласование задания на курсовую работу | 1 нед. | 1 нед. | - |
| 2. | Эскизный расчет усилительного устройства | 2 нед. | 2 нед. | 3 нед. |
| 3. | Электрический расчет усилителя по постоянному току | 3 нед. | 4 нед. | 5 нед. |
| 4. | Электрический расчет усилителя по переменному току | 5нед. | 6 нед. | 7 нед. |
| 5. | Реализация усилительного устройства на базе ИМС | 7 нед. | 7 нед. | 8нед. |
| 6. | Расчет параметров компонентов активных RC-фильтров | 8 нед. | 9 нед. | 10нед. |
| 7. | Описание назначения, принципа работы и схемы цифрового устройства | 10 нед | 12 нед. | 13нед. |
| 8. | Оформление курсовой работы | 13нед. | 15 нед. | 16 нед. |
| 9. | Сдача курсовой работы | 16нед. | 17 нед. | - |

# Библиографический список

**Основная литература**

1. Травин Г.А. Схемотехника устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения. М.: Горячая линия –Телеком, 2009.- 592 с.
2. Травин Г.А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения. Часть 1: Учебное пособие для вузов и факультетов связи. – Новосибирск: Изд-во СмбГУТИ. 2001. – 196 с.
3. Травин Г.А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения. Часть 2: Учебное пособие для вузов и факультетов связи. – Новосибирск: Изд-во СмбГУТИ. 2002. – 154 с.
4. Войшвилло Г.В. Усилительные устройства: Учебник для вузов. - М.: Радио и связь, 1983. - 264 с.
5. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. – М.:Мир, 1982.-512 с.
6. Лаврентьев Б. Ф. Схемотехника электронных средств. Учебное пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003.-288 с.
7. Мурадян А.Г., Разумихин В.М., Тверецкий М.С. Усилительные устройства: Учебник для вузов. - М.: Связь, 1976. - 280 с.
8. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов. - М.: Радио и связь, 2001. - 320 с.
9. Проектирование и расчет усилителей: Учеб. пособие / Б.Г. Теряев, М.И. Попова, В.Н. Марычев, И.П. Генералов. - М., 1993. - 95 с.
10. Проектирование усилительных устройств / В.В. Ефимов, В.Н. Павлов, Ю.П. Соколов и др.; Под ред. Н.В. Терпугова. - М.: Высш. шк., 1982. - 190 с.
11. Проектирование усилительных устройств на транзисторах / Г.В. Войшвилло, В.И. Караванов, В.Я. Краева и др.; Под ред. Г.В. Войшвилло. - М.: Связь, 1972. - 184 с.
12. Усилительные устройства / В.А. Андреев, Г.В. Войшвилло, О.В. Головин и др.; Под ред. О.В. Головина. - М.: Радио и связь, 1992. - 120 с.
13. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др.: Под ред. В.И. Иванова. – М.: Радио и связь, 1995. – 232 с.

**Дополнительная литература**

1. Алексеев А.Г., Войшвилло Г.В. Операционные усилители и их применение. - М.: Радио и связь, 1989. - 118 с.
2. Аналоговые интегральные схемы: Справочник / Б.П. Кудряшов, Ю.В. Назаров, Б.В. Тарабрин, В.А. Ушибышев. - М.: Радио и связь, 1981. - 160 с.
3. Аналоговые и цифровые интегральные схемы / Под ред. С.В. Якубовского. - М.: Сов. радио, 1979. - 336 с.
4. Бочаров Н.Ф., Жебряков Н.К., Колесников С.К. Расчет электронных устройств на транзисторах. - М.: Радио и связь, 1975. - 256 с.
5. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие для студентов вузов. - М.: Высш. щк., 1988. - 464 с.
6. Конденсаторы: Справочник / Под ред. И.И. Четверткова, М.Н. Дьяконова. - М.: Радио и связь, 1993. - 384 с.
7. Ламекин Е.Ф. Широкополосные интегральные усилители. - М.: Сов. радио, 1980. - 224 с.
8. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. - М.: Радио и связь, 1990. - 512 с.
9. Милехин А.Г. Радиотехнические схемы на полевых транзисторах. - М.: "Энергия", 1976. - 141 с.
10. Ногин В.Н. Аналоговые электронные устройства. - М.: Радио и связь, 1992. - 304 с.
11. Ногин В.Н. Усилители мощности с повышенным КПД: Учеб. пособие. - Горький: ГПИ, 1986. - 88 с.
12. Остапенко Г.С. Усилительные устройства. - М.: Радио и связь, 1989. - 400 с.
13. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы / Пер. с англ. - М.: Мир, 1988. - 583 с.
14. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник / К.М. Брежнева, Е.И. Гантман, Т.И. Давыдова и др.; Под ред. Е.Л. Перельмана. - М.: Радио и связь, 1992. - 656 с.
15. Ушаков В.Н. Основы радиоэлектроники и радиотехнические устройства: Учеб. пособие для радиотехн. вузов. - М.: Высш. шк., 1976. - 424 с.
16. Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных интегральных схем. - М.: Мир, 1985. - 572 с.
17. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники / Пер. с англ. - М.: Мир, 1998. - 704 с.
18. Хьюлсман Л.П., Аллен Ф.Е. Введение в теорию и расчет активных фильтров / Пер. с англ.; Под ред. А.Е. Знаменского. - М.: Радио и связь, 1984. - 384 с.
19. Цыкин Г.С. Усилительные устройства. - М.: Связь, 1971. - 366 с.

#### Учебное издание

*Бастракова Марина Ивановна*

*Дедов Андрей Николаевич*

*Чернышев Александр Юрьевич*

СХЕМОТЕХНИКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания к выполнению курсовой работы

Редактор Л. С. Емельянова

Подписано в печать 09.02.2011. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. п. л. 6,8. Тираж 70 экз. Заказ № 4521.

Поволжский государственный технологический университет

424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Редакционно-издательский центр

Поволжского государственного технологического университета

424006 Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17