

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГОУ ВПО МГАУ  
ФГОУ ВПО РГАЗУ

**ЭЛЕКТРОНИКА  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ  
И ЗАДАНИЯ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

студентам-заочникам сельскохозяйственных вузов специальности  
31.14.00 — «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»

Москва 2004

УДК 621.38 (075)

Рецензенты: профессор В. И. Загинайлов (МГАУ);  
ст. преподаватель В. А. Шанцин (Волгоградская СХА)

Составители: профессор Л. П. Шичков, доценты В. М. Богоявленский,  
В. Б. Людин.

Электроника. Методические указания по изучению дисциплины.  
Сост. Л.П. Шичков, В.М. Богоявленский, В.Б. Людин. М., 2004., 49 с.

Предназначены для студентов 2 курса ФЗО  
Табл. 11. Ил. 7

Утверждены методической комиссией инженерного факультета

**ОГЛАВЛЕНИЕ:**

**Раздел 1. Общие методические рекомендации по изучению  
дисциплины**

- 1.1. Цель дисциплины и задачи курса
- 1.2. Распределение учебного времени

**Раздел 2. Методические указания по изучению содержания тем  
курса**

- Тема 1. Элементная база электроники
- Тема 2. Электронные устройства
- Тема 3. Микропроцессорные средства
- Тема 4. Технические средства связи в сельском хозяйстве

**Раздел 3. Задания и методические указания по выполнению  
курсовой работы**  
Приложения

## Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.

### 1.1. ЦЕЛЬ ДИСЦИПЛИНЫ И ЗАДАЧИ КУРСА.

Цель дисциплины — изучение элементной базы электроники, электронных устройств аналоговых и цифровых сигналов, включая средства вычислительной и микропроцессорной техники, а также обобщенное изучение средств связи в сельском хозяйстве. В результате изучения курса студент должен знать:

- устройство, принцип действия, параметры и характеристики полупроводниковых приборов и интегральных микросхем;
- принцип построения, принцип действия и методы проектирования электронных устройств, построенных на базе полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, микропроцессоров и устройств связи; параметры и характеристики электронных устройств; принцип расчета основных электронных схем и устройств;
- принцип построения, действия и использования технических средств связи в сельском хозяйстве.

Должен уметь:

- понимать электронные схемы, определять по условным обозначениям и справочникам параметры электронных элементов, уметь строить и рассчитывать устройства, выполненные на этих элементах;
- квалифицированно решать инженерные задачи по обслуживанию электронной аппаратуры сельскохозяйственного производства;
- грамотно производить выбор стандартной электронной аппаратуры в зависимости от конкретных требований.

Применение микропроцессорных средств открывает большие возможности для нахождения оптимальных решений при планировании, обработке информации, проектировании, создании эффективных систем автоматического управления, технологических процессов в научных и инженерных исследованиях.

Применение современных средств связи существенно облегчает процесс организации и управления сельскохозяйственного производства.

Прежде чем приступить к изучению дисциплины, следует повторить изучение раздела курсов «Теоретические основы электротехники» и «Вычислительная техника и программирование».

При изучении настоящей дисциплины необходимо стремиться к освоению основных понятий и явлений, положенных в основу принципа работы радиоэлектронных приборов и микропроцессорных средств.

Студентам-заочникам сельскохозяйственных вузов по специальности 31.14.00 — «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» учебным планом предусмотрено выполнение курсовой работы.

## 1.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ.

Таблица 1.

№ п/п	Название темы	Всего часов	в том числе		
			самост ятель но	лекции	лаборат орно- практи ческие занятия
1	2	3	4	5	6
<b>1</b>	<b>Введение.</b>				
	Элементная база электроники	0,25	-	0,25	-
	Электропроводность полупроводниковых материалов. Полупроводниковые диоды	21,75	20	1,75	-
	Биполярные и полевые транзисторы, принцип действия, схемы включения, эквивалентные схемы и режимы работы	22	20	2	-
	Тиристоры. Электровакуумные фото-электрические и оптоэлектронные приборы. Их характеристики и параметры	11	10	1	-
<b>2</b>	<b>Электронные устройства.</b>				
	Электронные усилители. Понятие обратной связи	12	10	1	1
	Многокаскадные усилители, их характеристики и параметры. Операционные усилители	26	20	1	5
	Генераторы гармонических и импульсных колебаний. Средства электропитания электронной аппаратуры	19	15	1	3
	Импульсные устройства. Цифровые логические приборы	13	10	1	2
<b>3</b>	<b>Микропроцессорные средства.</b>				
	Архитектура микропроцессорных систем. Команды микропроцессоров. Сопряжение				

	микропроцессорных систем с внешними устройствами	25	20	2	3
4	Технические средства связи в сельском хозяйстве. Телефонная и радиосвязь. Принципы построения радиопередающих и приёмных устройств.	6	5	1	-
	<b>Итого:</b>	<b>160</b>	<b>130</b>	<b>12</b>	<b>14</b>

Установочные занятия – 2 часа.

### Библиографический список

Основной.

1. *Забродин Ю. С.* Промышленная электроника: Учебник для вузов, М.: Высшая школа, 1982.
2. Основы промышленной электроники: Учебник для неэлектротехн. спец. вузов /В. Г. Герасимов и др., / Под ред. В. Г. Герасимова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1986.
3. *Гусев В. Г., Гусев Ю. М.* Электроника: Учеб. пособие для вузов: 2- изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1991.  
Дополнительный.
4. Арестов К.А. Основы электроники и микропроцессорной техники: учебник для средних специальных учебных заведений. М.: Колосс, 2001.
5. *Балашов Е. П.* и др. Микро- и мини-ЭВМ: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние. 1984.
6. *Жеребцов И. П.* Основы электроники. 5-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоиздат, 1989.
7. *Токхайд Роджер Л.* Основы цифровой электроники. М.: Мир, 1988.
8. Бойко В.И. и др. Схемотехника электронных систем. Т1...Т3. учебник для студентов ВУЗов. С.-Петербург, 2004.

## Раздел 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ТЕМ КУРСА.

Тема 1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ.

**Целью и задачей** темы является изучение пассивных и активных элементов применяемых в электронных устройствах.

### Общие методические рекомендации.

**1.1.** К пассивным элементам электроники относятся конденсаторы, резисторы, катушки индуктивности, трансформаторы. Следует изучить их параметры и способы маркировки.

Большой класс пассивных элементов электроники представляют собой примесные полупроводники — терморезисторы, фоторезисторы, приборы с одним *p-n* переходом: выпрямительные диоды, стабилизаторы, туннельные диоды, вариканы, фото- и светодиоды. Обратите внимание на принцип их действия, электропроводность полупроводниковых материалов, параметры и характеристики.

*Вопросы для самопроверки..*

1. Объясните явление «собственной», «дырочной», «электронной» проводимостей, свойства и характеристики электронно-дырочного перехода.
2. В чем заключается различия основных и неосновных носителей заряда в полупроводниках?
3. Приведите формулу теоретической вольт-амперной характеристики диода.
4. Перечислите виды пробоя в полупроводниковых диодах.
5. Объясните принцип работы полупроводниковых светоизлучателей и приемников излучения.
6. Назовите области применения фотоэлектрических и оптоэлектронных приборов.
7. Перечислите пассивные элементы электроники и приведите единицы измерения их параметров.

*Литература: 1, § 1.1, 1.2; 2, § 1.1, 1.2, 1.3. 1.4, 3.4, 4.2, 4.3.*

**1.2.** К активным элементам электроники относятся биполярные, полевые транзисторы. Изучите принцип их действия, представление эквивалентными схемами с использованием физических параметров транзисторов, *h*-параметров и Т-образной эквивалентной схемы.

Рассмотрите связь *h*-параметров с физическими параметрами транзистора.

Сравните статические характеристики и схемы включения биполярных транзисторов (схема с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором) с характеристиками и схемами включения полевого транзистора

(схема с общим затвором (ОЗ), общим истоком (ОИ) и общим стоком (ОС)).

*Вопросы для самопроверки..*

1. Объясните принцип действия биполярного транзистора, приведите его основные параметры.
2. Укажите тип носителей заряда, проходящих через базу в приборах *p*- и *n*- типа.
3. Охарактеризуйте элементы, входящие в Т-образную эквивалентную схему транзистора ( $r_{э}$ ,  $r_{б}$ ,  $\alpha_{iэ}$ ,  $\beta_{iб}$ ,  $r_{к}$ ,  $C_{кб}$ ).
4. В чем отличие полевого транзистора с изолированным затвором от транзистора с *p-n* переходом?
5. Какими параметрами характеризуются полевые транзисторы?
6. Приведите схемы включения транзисторов.

*Литература: 1, § 1.3, 1.4; 2, § 1.5, 1.6.*

**1.3.** Силовыми элементами электроники являются тиристоры — диодный, триодный и симметричный. Установите сходство в физических процессах, протекающих в них при переключении, и сравните их вольт-амперные характеристики. Найдите примеры использования данных приборов в силовых коммутационных устройствах.

*Вопросы для самопроверки..*

1. Приведите вольт-амперную характеристику триодного тиристора.
2. Приведите вольт-амперную характеристику симметричного тиристора.
3. В чем отличия вольт-амперной характеристики триодного тиристора от вольт-амперной характеристики симметричного тиристора?
4. Что такое напряжение переключения тиристора?
5. Назовите области применения тириستоров.

*Литература: 1, § 1.5, 1.6; 2, § 1.7.*

**1.4.** Широкое применение в электронике находят и электронно-вакуумные приборы — электровакуумные лампы, электроннолучевые трубки (осциллографические, трубки знаковой индикации, дисплейные).

Сравните их принцип действия и выделите области применения.

*Вопросы для самопроверки..*

1. Объясните явление термоэлектронной эмиссии?
2. Объясните назначение электродов в электровакуумном триоде?
3. Дайте классификацию электровакуумных ламп в зависимости от

количества электродов в лампе.

4. В чем отличие ЭЛТ с электростатическим отклонением луча, от ЭЛТ с электромагнитным отклонением?

*Литература: 1, § 4.2, 4.3; 2, § 4.5, 4.6.*

**1.5.** Развитие микроэлектроники позволило создать на базе элементарных пассивных и активных полупроводниковых элементов функциональные структуры в одном кристалле полупроводника — интегральные микросхемы. По функциональному назначению интегральные микросхемы подразделяются на аналоговые (для обработки непрерывных сигналов) и цифровые (для обработки импульсных сигналов).

*Вопросы для самопроверки..*

1. Дайте определение понятия микроэлектроники.
2. Приведите классификацию ИС по функциональному назначению.
3. Что такое степень интеграции ИС?
4. Как классифицируются ИС по степени интеграции?

*Литература: 1, § 1.6; 2, § 2.1—2.6.*

## Тема 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА.

### Цель и задачи.

Целью и задачей темы является изучение принципов построения действия проектирования электронных устройств, построенных на базе полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

### Общие методические рекомендации.

**2.1.** Электронные устройства можно разделить на несколько видов: усилительные, генераторные, импульсные, логические.

Усилительные устройства применяются в измерительной технике, техники связи для усиления слабых электрических сигналов. Генераторные — для формирования электрических сигналов разнообразной формы. Импульсные и логические устройства используются в системах автоматического управления, вычислительной технике, силовой преобразовательной технике. Фундаментальным понятием в проектировании электронных устройств является понятие обратной связи. Обратная связь может носить дегенеративный характер — отрицательная обратная связь и генеративный

характер — положительная обратная связь.

Отрицательная обратная связь (ООС) применяется в усилительных устройствах. ООС изменяет их параметры и характеристики (входные и выходные, коэффициент усиления, амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики).

Усилительные устройства могут обеспечивать усиление по: току, напряжению и мощности.

Разновидностями усилителей мощности являются двухтактные усилители мощности (трансформаторные и безтрансформаторные).

Электронные усилители, параметры которых преимущественно определяются свойствами цепи обратной связи, получили название операционных усилителей. Операционные усилители (ОУ) в основном выполняются в интегральном исполнении. ОУ широко применяются в усилителях постоянного тока (УПТ), сумматорах, интеграторах, дифференциаторах, компараторах и других электронных устройствах обработки аналоговых сигналов.

#### *Вопросы для самопроверки..*

1. Дайте определение усилителя и приведите его основные параметры.
2. Назовите классификацию усилителей с линейным режимом работы по полосе пропускания.
3. По какому признаку обратная связь классифицируется как отрицательная или положительная?
4. В чем состоит назначение отрицательной обратной связи в электронных усилителях и какие их параметры она изменяет?
5. Какие виды обратных связей вы знаете?
6. С какой целью в усилительных каскадах применяется местная обратная связь по постоянному току либо по напряжению?
7. В чем состоит принцип согласования нагрузок в усилителях мощности?
8. Какие классы усиления вам известны и в чем их смысл?
9. Назовите преимущества двухтактных усилителей мощности перед одноктактными.
10. Дайте определение термина «операционный усилитель».
11. Приведите параметры и характеристики современных операционных усилителей.
12. Какой каскад усиления применяется в качестве входного в операционном усилителе?
13. Приведите примеры применения операционных усилителей в интегральном исполнении.

*Литература: 1. § 2.1—2.8; 2, § 5.1—5.6. 6.1—6.6.*

**2.2. Генераторы.** Положительная (генеративная) обратная связь используется в генераторных устройствах. Условиями самовозбуждения генераторных

устройств являются баланс амплитуд и баланс фаз каналов прямой передачи и обратной связи.

#### *Вопросы для самопроверки.*

1. Какой вид обратной связи используется в генераторах?
2. Каковы условия самовозбуждения в генераторах?
3. Как формируется условие баланса фаз в каналах прямой передачи и обратной связи генератора?
4. Каково условие баланса амплитуд?

*Литература: 1, § 2.11; 2, § 7.1—7.6.*

**2.3.** К источникам вторичного питания относят параметрические и компенсационные стабилизаторы напряжения тока. В последнее время для обеспечения качества, напряжения питания и высокого КПД применяются импульсные стабилизаторы (преобразователи) напряжения, автономные инверторы тока и напряжения.

#### *Вопросы для самопроверки.*

1. Назовите источники электропитания электронных устройств и причины применения преобразователей тока и напряжения.
2. Какие полупроводниковые приборы применяются в неуправляемых и управляемых выпрямительных устройствах?
3. Назовите назначение и типы опорных элементов, применяемых в стабилизаторах напряжения.
4. Назовите типы сглаживающих фильтров, применяемых в выпрямительных устройствах.
5. Объясните принцип работы параметрического и компенсационного стабилизаторов напряжения.
6. Перечислите требования предъявляемые к источникам питания.

*Литература: 1. § 5.1-5.6, 6.4; 2, § 9.1-9.12.*

### Тема 3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СРЕДСТВА.

**Целью и задачей** изучения темы является ознакомление с архитектурой микропроцессорных систем, типовыми структурами и областями применения микропроцессорных средств в сельскохозяйственном производстве.

#### **Общие методические рекомендации.**

Изучение микропроцессорных средств следует начать с понятия

микропроцессора и его месте в архитектуре микропроцессорных систем.

Следует рассмотреть типовую структуру микропроцессорной системы, включающую в себя арифметическо-логическое устройство (ЛЛУ), устройство управления (УУ) (данные устройства и представляют собой процессор), шину управления, регистры микропроцессора, постоянное запоминающее устройство, оперативную память и системы ввода-вывода.

Работа микропроцессорной системы заключается в выполнении последовательности команд.

Совокупность команд составляет конструкцию языка и включает в себя команды: пересылки, выполнения арифметических и логических операций, сдвигов, управления, ввода-вывода.

Особое внимание следует уделить изучению вопросов сопряжения микропроцессорных систем с внешними устройствами с использованием аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей сигналов при использовании микропроцессорных систем в качестве управляющего органа автоматических систем.

#### *Вопросы для самопроверки.*

1. Дайте определение понятия микропроцессор.
2. В какой системе счисления работают микропроцессорные системы?
3. Приведите единицы измерения информации, которую обрабатывает микропроцессор.
4. Укажите назначение блоков микропроцессорной системы (ЛЛУ, ЗУП, ЗУД, УВВ).
5. По каким трактам осуществляется передача информации в МПС?
6. Приведите классификацию команд микро-ЭВМ.
7. Объясните порядок прохождения и выполнения команд в микро-ЭВМ.
8. Чем отличается команда от машинного кода?
9. Что такое интерфейс микро-ЭВМ, в чем отличие параллельного интерфейса от последовательного?
10. Какими электронными устройствами осуществляется сопряжение микропроцессоров с датчиками и исполнительными устройствами?

*Литература:* 1. § 3 17. § 8.12; 2, § 2.1-2.9.

#### **Тема 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.**

**Целью и задачей** темы является ознакомление и изучение современных средств связи применяемых при организации сельскохозяйственного производства.

#### **Общие методические рекомендации.**

Современные средства связи можно подразделить на телефонную и радиосвязь. При изучении средств телефонной связи необходимо ознакомиться с принципом действия устройств телефонного аппарата и структурой телефонных станций. Радиосвязь основана на передаче и применении электрических сигналов с различным видом модуляции (ЧМ, АМ, ФМ и др.). Вид модуляции определяет функциональные схемы приемопередающих устройств.

Следует ознакомиться с типами радиостанций применяемых в сельском хозяйстве.

#### *Вопросы для самопроверки.*

1. Объясните принцип телефонной связи по проводам.
2. Поясните принцип модуляции электрических сигналов.
3. Из каких основных электронных устройств состоят радиопередающие и принимающие устройства?
4. Какие полупроводниковые приборы используются в схемах амплитудного детектирования?
5. Приведите примеры применения телефонной и радиосвязи в сельском хозяйстве.

### **Раздел 3. ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.**

Учебным планом для студентов-заочников по курсу «Электроника, микропроцессорные средства и техника связи» предусмотрено выполнение курсовой работы.

Для выполнения курсовой работы студенту необходимо изучить соответствующую литературу, решить задачи и упражнения, приводимые в рекомендованных учебниках, с тем, чтобы получить полное представление по рассматриваемому вопросу.

Решения поставленных в курсовой работе задач даются в общем виде с краткими пояснениями. В формулу подставляются числовые значения величин с указанием единиц измерения в системе СИ. Вычисления следует производить с помощью логарифмической линейки длиной 25 см или на электронной клавишной вычислительной машине (ЭКВМ) с точностью до третьей значащей цифры.

Работа выполняется чернилами, на листах формата А4 (11) размером 297х210 мм, аккуратным почерком с оставлением полей для замечаний рецензента. Схемы и графический материал должны выполняться на миллиметровой бумаге формата А4 (11) размером 297х210 мм. Условные графические обозначения в электрических схемах должны отвечать

действующим требованиям ЕСКД.

В конце работы указываются использованные учебники и учебные пособия и примерное время (в часах), затраченное на выполнение курсовой работы.

Работа должна быть подписана с указанием даты ее окончания.

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.

1. Для усилительного транзисторного каскада (рис. 1):

1.1. Выбрать транзистор по приложению 1, определить напряжение источника питания  $U_{П}$ , рассчитать сопротивление резисторов и выбрать их номиналы по приложению 2.

1.2. Определить  $h$ -параметры,  $h_{11Э}$ ,  $h_{21Э}$  в рабочей точке транзисторного каскада, его входное и выходное сопротивления  $R_{ВХ}$  и  $R_{ВЫХ}$ .

1.3. Найти амплитуды напряжения и тока базы  $U_{Бг}$ ,  $I_{Бг}$ , коэффициенты усиления каскада по току, напряжению и мощности  $K_I$ ,  $K_V$ ,  $K_P$  и амплитуду напряжения источника сигнала  $U_{Гм}$ .

1.4. Рассчитать емкости конденсаторов, выбрать их номинал по приложениям 2,3.

2. Задана схема на операционном усилителе, необходимо:

2.1. Рассчитать сопротивления резисторов и емкости конденсаторов, выбрать их номиналы по приложениям 2, 3.

2.2. Выбрать операционный усилитель (ОУ).

2.3. Определить максимальные амплитуды источников сигнала.

3. Для логической функции необходимо:

3.1. Упростить функцию, пользуясь алгеброй логики.

3.2. Составить таблицу истинности.

3.3. Разработать функциональную электрическую схему на базовых элементах (И, ИЛИ, НЕ).

Выберите исходные данные для всех пунктов задания по двум последним цифрам вашего шифра.

По последней цифре:

Таблица 1.

Последняя цифра шифра		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
К пункту 1 задания	Сопротивление нагрузки $R_{П}$ , Ом	100	150	180	300	400	500	400	350	370	300
	Амплитуда напряжения в нагрузке $U_{НМ}$ , В	0,5	1	1.5	2	2,5	2,25	1,75	1,25	0,75	1,0
К пункту 2 задания	Схема на ОУ, рисунок	4а	4б	4в	4г	4д	4а	4б	4г	4г	4д
	Коэффициент усиления по напряжению для источника сигнала $K_{U2}$	-	-	20	-	-	-	-	40	-	-
	Нижняя граничная частота $F_{Н}$ , Гц	-	-	-	50	20	-	-	-	100	75
	Внутреннее сопротивление источника сигнала $R_{G2}$ , кОм	-	-	40	-	-	-	-	70	-	-
К пункту 3 задания	Логическая функция $F^*$	$X((Y+Z\overline{X})+A_1)A_2^*$	$(\overline{XZ}+Y)Z+A_1+A_2$	$X(\overline{Y}+XY\overline{Z})+A_1A_2$	$X(YZ+X) (A_1+A_2)$	$\overline{X}Y(Z+X)+A_1+A_2$	$XY(Z+\overline{X})+A_1+A_2$	$X(\overline{Y}+Z+X)+A_1A_2$	$XYZ+Z\overline{X}Y+A_1+A_2$	$XY(Z+XY)+A_1+A_2$	$X(YZ+XY)A_1+A_2$

**\*Примечание.** Здесь и далее черту снизу нужно читать, как знак инверсии, т.е. черта сверху.

$A_1$ ,  $A_2$  – из таблиц 2,3.

По предпоследней цифре:

Таблица 2.

Предпоследняя цифра		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
К пункту 1 задания	Внутреннее сопротивление источника сигнала $R_G$ , Ом	100	150	200	300	350	400	450	500	600	700
К пункту 2 задания	Внутреннее сопротивление источника сигнала $R_{G1}$ , кОм	1	10	20	30	75	40	25	15	5	3
К пункту 3 задания	Логическая функция $A_1$	$\overline{XYZ}$	$\overline{XY}\overline{Z}$	$\overline{XY}Z$	$\overline{X}\overline{Y}\overline{Z}$	$\overline{X}\overline{Y}Z$	$\overline{X}YZ$	$\overline{X}\overline{Y}\overline{Z}$	$\overline{X}\overline{Y}Z$	$\overline{X}YZ$	$\overline{XYZ}$

По последней цифре:

Таблица 3.

Последняя цифра		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
К пункту 1 задания	Нижняя граничная частота $F_H$ , Гц	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
К пункту 2 задания	Коэффициент усиления по напряжению для источника сигнала $K_{U1}$	10	20	30	40	50	55	45	35	25	15
К пункту 3 задания	Логическая функция $A_2$	$\overline{XY}(ZX+ZY)$	$\overline{XY}(\overline{XZ}+\overline{Z})$	$XZ(XY+\overline{X})$	$Y(Z+ZX)$	$ZY(XZ+\overline{X})$	$X(XYZ+ZY)$	$Z(XYZ+\overline{ZY})$	$(\overline{XY}+\overline{ZX})ZY$	$(\overline{ZY}+\overline{ZX})YZ$	$\overline{XY}$

Прочие данные:

Таблица 4.

Допустимые частотные искажения на граничной частоте $M_H$		1, 41
К пункту 2 задания	Динамический диапазон выходного напряжения $D$ , дБ	26
Максимальная температура окружающей среды $T_M$ , °C		40

## Методические советы.

### К пункту 1.1.

Вычертить принципиальную электрическую схему транзисторного усилительного каскада (рис. 1).

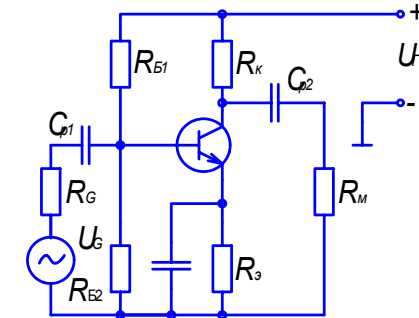


Рис. 1 Принципиальная электрическая схема усилительного каскада.

Рассчитать сопротивление резистора коллекторной цепи транзистора:

$$R_K = (1 + K_R) \cdot R_H$$

где  $K_R$  – коэффициент соотношения сопротивлений  $R_H$  и  $R_K$ .

$$K_R = 1.2 \div 1.5 \text{ при } R_H \leq 1 \text{ кОм};$$

$$K_R = 1.5 \div 5.0 \text{ при } R_H > 1 \text{ кОм}.$$

Номинал резистора  $R_K$  выбирается по приложению 2. Определить эквивалентное сопротивление нагрузки каскада:

$$R_H = \frac{R_K R_H}{R_K + R_H}$$

Найти амплитуду коллекторного тока транзистора:

$$I_{KM} = \frac{U_{Hm}}{R_H}$$

Определить ток покоя (ток в рабочей точке) транзистора:

$$I_{KP} = \frac{I_{KM}}{16}$$



$$k_3$$

где:  $k_3$  - коэффициент запаса.

$$k_3 = 0,7 \div 0,95,$$

$k_3 = 0,7$  – максимальные нелинейные искажения,

$k_3 = 0,95$  – максимальный КПД.

Рассчитать минимальное напряжение коллектор-эмиттер в рабочей точке транзистора:

$$U_{КЭП\ min} = U_{нм} + U_0,$$

где  $U_0$  – напряжение коллектор-эмиттер, соответствующее началу прямолинейного участка выходных характеристик транзистора, В;

$U_0 = 1$  В – для транзисторов малой мощности ( $P_K \leq 150$  мВт);

$U_0 = 2$  В – для транзисторов большой и средней мощности ( $P_K > 150$  мВт).

Если  $U_{КЭП\ min}$  меньше типового значения  $U_{КЭП} = 5$  В, то следует выбрать  $U_{КЭП} = 5$  В, в противном случае,

$$U_{КЭП} = U_{КЭ\ min}.$$

Рассчитать напряжение источника питания:

$$U_{\Pi} = \frac{U_{КЭП} + I_{КП} \cdot R_K}{0,7 \div 0,9},$$

значение расчётного напряжения  $U_{\Pi}$  округлить до ближайшего целого числа.

Определить и выбрать номинал сопротивления резистора эмиттерной цепи транзистора:

$$R_Э = (0,1 \div 0,3) \frac{U_{\Pi}}{I_{КП}}$$

Выбрать транзистор из приложения 1 по параметрам:

а) максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер:

$$U_{КЭ\ доп} \geq U_{\Pi};$$

б) максимальный допустимый средний ток коллектора:

$$I_{К\ доп} > I_{КП};$$

в) максимальная мощность рассеивания на коллекторе  $P_{К\ max}$  при наибольшей температуре окружающей среды  $T_m$ :

$$P_{К\ max} > I_{КП} U_{КП},$$

$P_{К\ max}$  находится по формуле:

$$P_{К\ max} = P_{К\ доп} \frac{T_{П\ max} - T_m}{T_{П\ max} - T_0},$$

где  $P_{К\ доп}$  – максимально допустимая мощность рассеивания на коллекторе при температуре окружающей среды  $T_0$ , Вт;

$T_{П\ max}$  – максимальная температура перехода,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_0$  – температура окружающей среды, при которой нормируется  $P_{К\ доп}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ;  
 $P_{К\ доп}$ ,  $T_{П\ max}$  – справочные величины.

Вычертить входные и выходные характеристики выбранного транзистора.

На выходных характеристиках транзистора построить нагрузочную прямую постоянного тока по точкам А, В с координатами (рис 2б)

$$\text{точка А} \quad U_{КЭ} = 0, \quad I_K = \frac{U_{\Pi}}{R_K + R_Э},$$

$$\text{точка В} \quad U_{КЭ} = U_{\Pi}, \quad I_K = 0.$$

На пересечение нагрузочной прямой и прямой  $I_K = I_{КП}$  нанести рабочую точку С. Уточнить напряжение  $U_{КЭ}$  в рабочей точке ( $U_{КЭП} = U_{КЭ}$  в точке С).

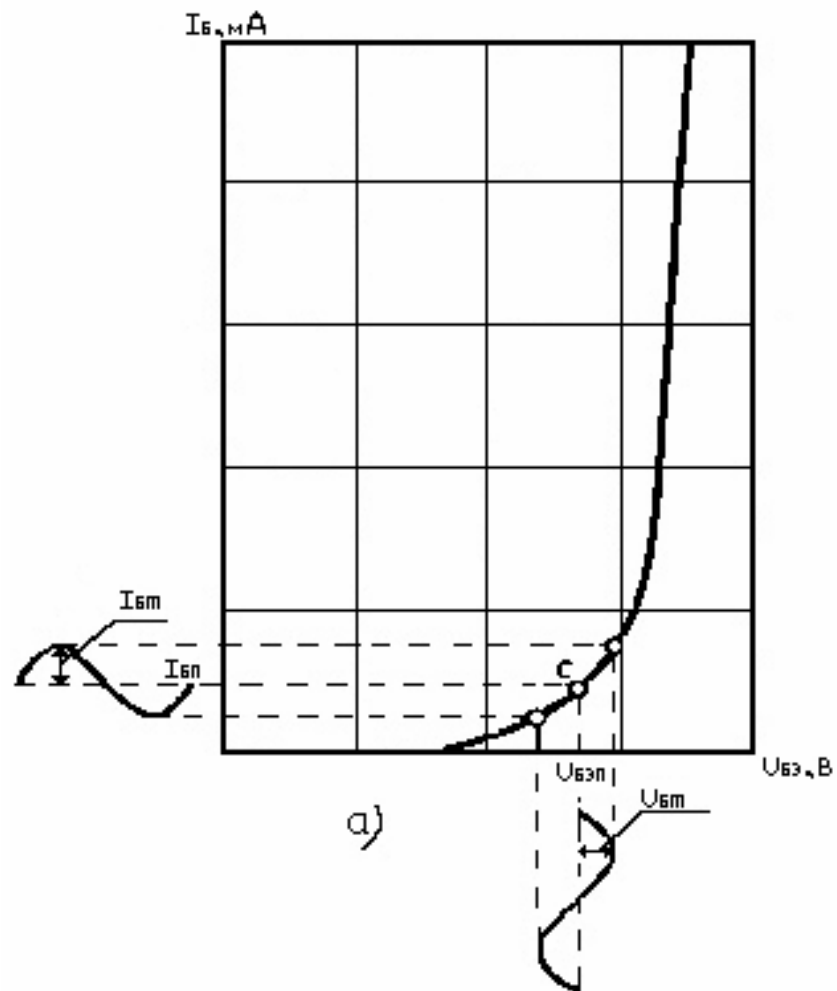


Рис. 2а.  
Входные и выходные характеристики транзистора  
(к пункту 1).

Определить ток базы  $I_{БП}$  транзистора в точке С (рабочей точке).

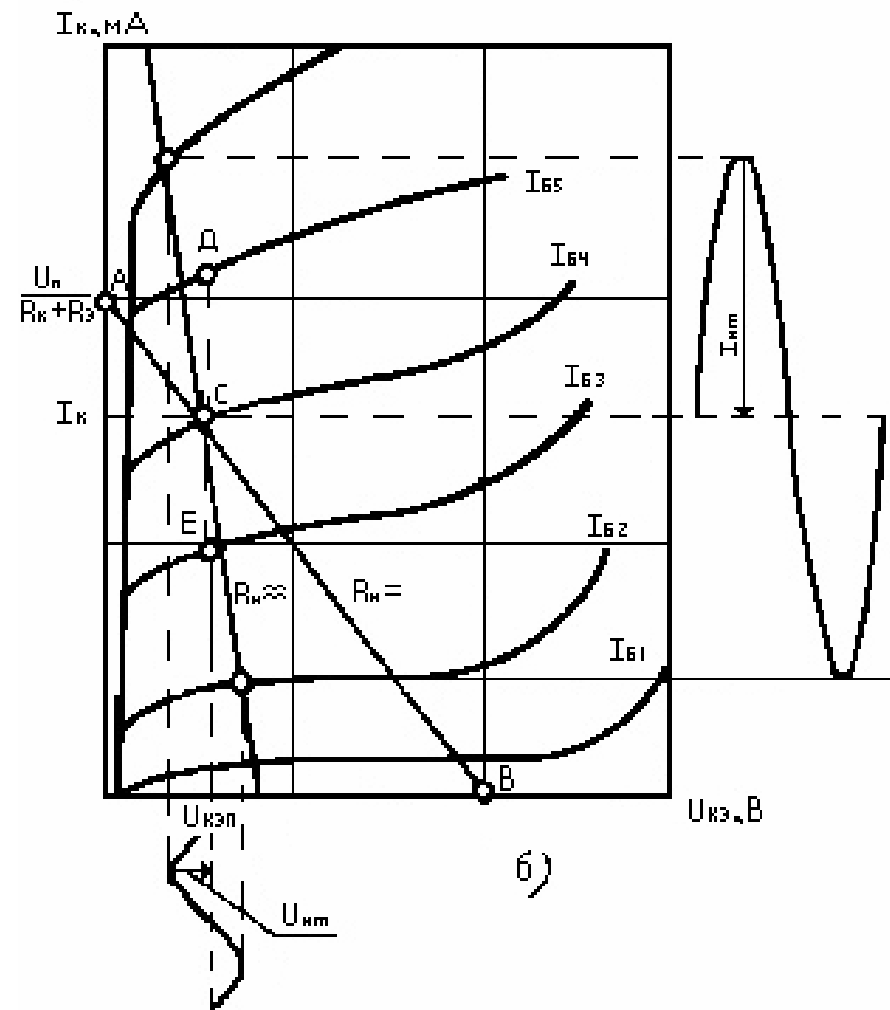


Рис 2б.

На входную характеристику (рис 2а) нанести рабочую точку С – пересечение входной характеристики (при  $U_{КЭП}$ ) и прямой  $I_B = I_{БП}$ . Определить  $U_{БЭП}$ .  
Выбрать ток, протекающий через базовый делитель:

$$I_D = (5 \div 10) I_{БП} .$$

Рассчитать сопротивления и выбрать номиналы резисторов базового делителя

$R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$ :

$$R_{\delta 2} = \frac{U_{\delta \Delta \Pi} + I_{\text{кп}} R_{\Delta}}{I_{\Delta}} ; \quad R_{\delta 1} = \left( \frac{U_{\Pi}}{U_{\delta \Delta \Pi} + I_{\text{кп}} R_{\Delta}} \right) \cdot R_{\delta 2}$$

Найти эквивалентное сопротивление базового делителя:

$$R_{\Delta} = \frac{R_{\delta 1} R_{\delta 2}}{R_{\delta 1} + R_{\delta 2}} .$$

### К пункту 1.2.

Определить по входным характеристикам транзистора входное сопротивление транзистора  $h_{11\Delta}$  в рабочей точке; задать приращение  $\Delta U_{\delta \Delta}$  около рабочей точки С, найти соответствующее ему приращение базового тока  $\Delta I_{\delta}$ . Вычислить  $h_{11\Delta}$ :

$$h_{11\Delta} = \frac{\Delta U_{\delta \Delta}}{\Delta I_{\delta}} .$$

По выходным характеристикам транзистора определить коэффициент передачи тока транзистора  $h_{21\Delta}$ . Найти приращение коллекторного тока и соответствующее ему приращение базового тока при пересечении прямой  $U_{\text{кэп}} = U_{\text{кэ}}$  соседних от рабочей точки С выходных характеристик (точки Д, Е рис. 2б):

$$h_{21\Delta} = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\delta}}$$

Определить входное сопротивление каскада:

$$R_{\text{вх}} = \frac{h_{11\Delta} R_{\Delta}}{h_{11\Delta} + R_{\Delta}} .$$

Найти выходное сопротивление каскада:

$$R_{\text{вых}} \approx R_{\text{к}} .$$

### К пункту 1.3.

Построить на выходных характеристиках транзистора нагрузочную прямую по переменному току, которая проходит через рабочую точку С и имеет наклон (рис. 2б):

$$\frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta U_{\text{кэ}}} = 1 / R_{\text{н}} .$$

Нанести на выходные характеристики транзистора амплитуды коллекторного тока  $I_{\text{км}}$  и напряжения  $U_{\text{нм}}$  (рис. 2б), определить амплитуду базового тока:

$$I_{\delta \text{м}} = \frac{\Delta I_{\delta}}{2} .$$

На входных характеристиках (рис. 2а) показать амплитуды базового тока и входного напряжения транзистора:

$$U_{\text{вхт}} = \frac{\Delta U_{\delta \Delta}}{2} .$$

Определить коэффициенты усиления каскада по току, напряжению и мощности  $K_I, K_U, K_P$ :

$$K_I \approx h_{21\Delta} \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}}} ; \quad K_U = K_I \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{Г}} + R_{\text{вх}}} ; \quad K_P = K_I K_U .$$

Рассчитать амплитуду напряжения источника сигнала:

$$U_{\text{Гм}} = \frac{U_{\text{нм}}}{K_V} .$$

### К пункту 1.4.

Частотные искажения в области нижних частот вносятся разделительными конденсаторами  $C_{\text{р1}}, C_{\text{р2}}$  и блокировочным конденсатором  $C_{\delta 1}$ . Рекомендуется частотные искажения в области нижних частот равномерно распределить между конденсаторами  $C_{\text{р1}}, C_{\text{р2}}, C_{\delta 1}$ :

$$M_{\text{нч}} = \sqrt[3]{M_{\text{н}}}$$

Рассчитать ёмкость конденсатора:

$$C_{P1} \geq \frac{1}{2\pi F_H (R_G + R_{BX}) \sqrt{M_{HC}^2 - 1}},$$

выбрать номинал ёмкости конденсатора  $C_{P1}$  из приложения 2 (при ёмкости менее 10 мкФ) или приложения 3 (при ёмкости 10 мкФ и более).

Определить ёмкость конденсатора  $C_{P2}$  и выбрать её номинал:

$$C_{P2} \geq \frac{1}{2\pi F_H (R_{ВЫХ} + R_H) \sqrt{M_{HC}^2 - 1}}.$$

Рассчитать ёмкость блокировочного конденсатора  $C_{B1}$  и выбрать её номинал:

$$C_{B1} \geq \frac{1}{2\pi F_H R_H \sqrt{M_{HC}^2 - 1}}.$$

### Пример к пункту 1.

Исходные данные:

$$R_H = 270 \text{ Ом}; U_{Hm} = 2 \text{ В}; R_G = 550 \text{ Ом}; \\ F_H = 20 \text{ Гц}; M_H = M_B = 1,41.$$

Рассчитаем сопротивление резистора в цепи коллектора транзистора:

$$R_K = (1 + K_R) R_H = (1 + 1,2) \cdot 270 = 594 \text{ Ом}.$$

Выберем номинал сопротивления резистора  $R_K = 620 \text{ Ом}$ .

Определим эквивалентное сопротивление нагрузки каскада:

$$R_H = \frac{R_H R_K}{R_H + R_K} = \frac{270 \cdot 620}{270 + 620} = 188 \text{ Ом}.$$

Найдём амплитуду коллекторного тока транзистора:

$$I_{KM} = \frac{U_{Hm}}{R_H} = \frac{2}{188} = 10,6 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Определим ток покоя (ток в рабочей точке) транзистора:

$$I_{KP} = \frac{I_{KM}}{k_3} = \frac{10,6 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Определим минимальное напряжение коллектор-эмиттер в рабочей точке транзистора:

$$U_{KЭП \min} = U_{Hm} + U_0 = 2 + 1 = 3 \text{ В},$$

т.к.  $U_{KЭП \min}$  меньше типового значения  $U_{KЭП} = 5 \text{ В}$ , принимаем  $U_{KЭП} = 5 \text{ В}$ .

Рассчитаем напряжение источника питания:

$$U_{\Pi} = \frac{U_{KЭП} + I_{KP} \cdot R_K}{0,7 \div 0,9} = \frac{5 + 15 \cdot 10^{-3} \cdot 620}{0,7} = 20,4 \text{ В}$$

Входные и выходные характеристики транзистора КТ315Г.

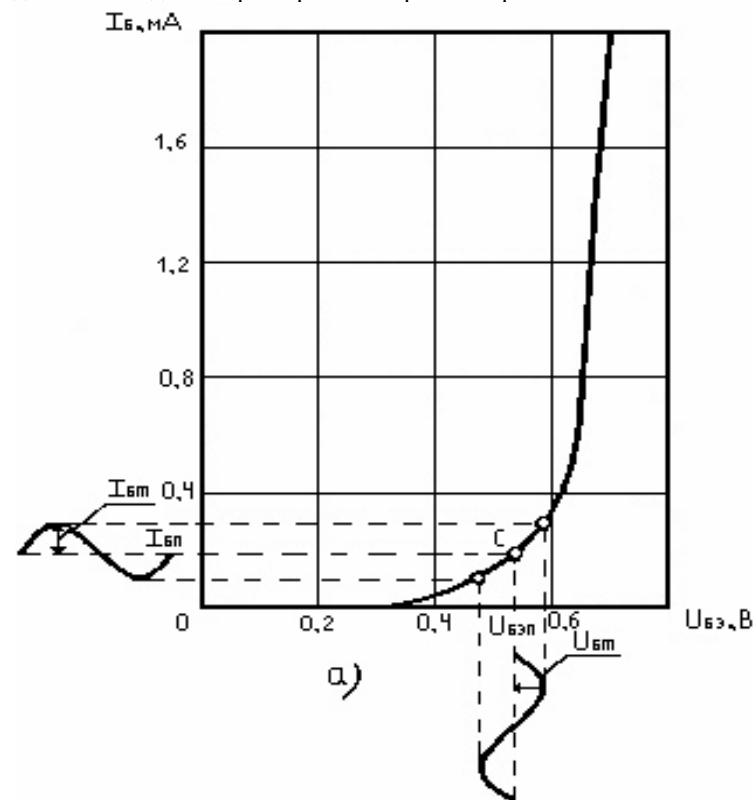


Рис 3а.

Выбираем напряжение питания  $U_{\Pi} = 20 \text{ В}$ .

Определим сопротивление резистора:

$$R_{\Sigma} = (0,1 \div 0,3) \cdot \frac{U_{\Pi}}{I_{\text{КП}}} = 0,3 \cdot \frac{20}{15 \cdot 10^{-3}} = 399 \text{ Ом},$$

Номинал резистора  $R_{\Sigma} = 390 \text{ Ом}$ .

Выбираем транзистор КТ315Г:

$$U_{\text{КЭ доп}} = 25 \text{ В} > U_{\Pi} = 20 \text{ В};$$

$$I_{\text{К доп}} = 100 \text{ мА} > I_{\text{КП}} = 15 \text{ мА}.$$

Вычертим выходные и входные характеристики транзистора КТ315Г (рис.3).

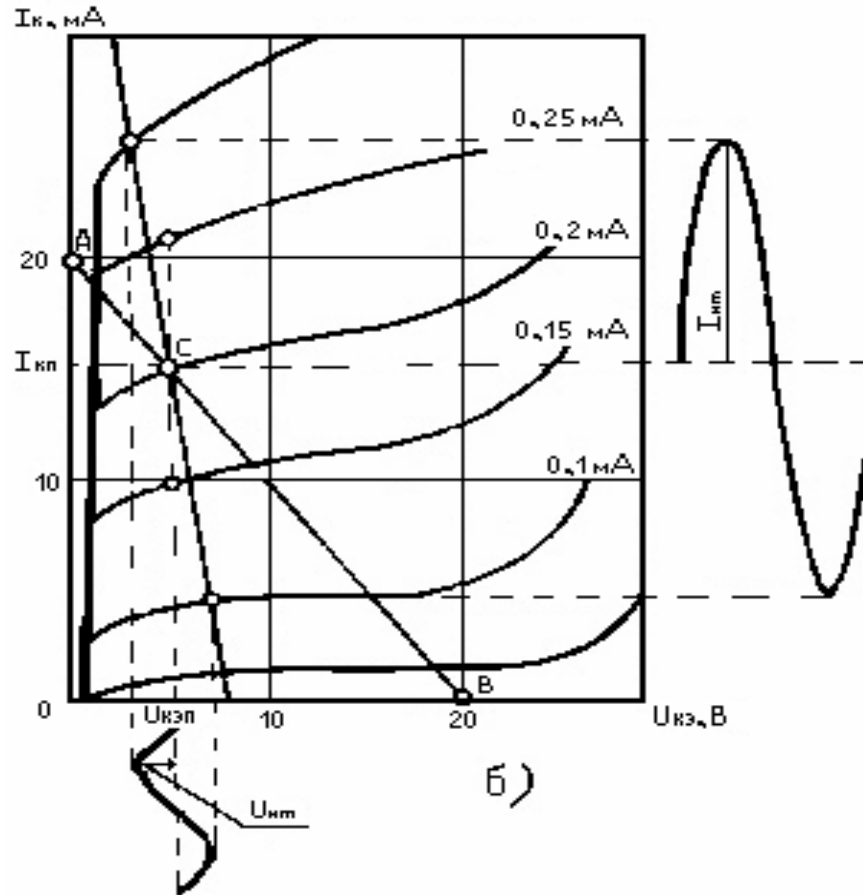


Рис 36.

На выходных характеристиках транзистора КТ315Г построим нагрузочную прямую постоянного тока по точкам А, В.

$$\text{Точка А: } U_{\text{КЭ}} = 0, I_{\text{К}} = \frac{U_{\Pi}}{R_{\text{К}} + R_{\Sigma}} = \frac{20}{620 + 390} = 19,8 \cdot 10^{-3} \text{ А};$$

точка В:  $U_{\text{КЭ}} = U_{\Pi}$ ,  $I_{\text{К}} = 0$ .

Нанесём рабочую точку С на нагрузочную прямую с координатой  $I_{\text{К}} = I_{\text{КП}} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ А}$ , уточним напряжение  $U_{\text{КЭ}}$  в точке покоя:

$$U_{\text{КЭП}} = 5 \text{ В}.$$

Рассчитаем мощность в точке покоя транзистора:

$$P_{\text{КП}} = I_{\text{КП}} U_{\text{КЭП}} = 5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}.$$

Определим наибольшую мощность рассеивания транзистора при максимальной рабочей температуре:

$$P_{\text{К max}} = P_{\text{К доп}} \cdot \frac{T_{\Pi \text{ max}} - T_{\text{м}}}{T_{\Pi \text{ max}} - T_0} = 150 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{120 - 40}{120 - 25} = 125 \cdot 10^{-3} \text{ Вт},$$

$P_{\text{КП}} < P_{\text{К max}}$ , следовательно, транзистор КТ315Г выбран правильно.

Находим координаты рабочей точки С на входной характеристике транзистора

$$R_{\Sigma 2} = \frac{U_{\text{БЭП}} + I_{\text{КП}} R_{\Sigma}}{I_{\text{Д}}} = \frac{0,53 + 15 \cdot 10^{-3} \cdot 390}{1 \cdot 10^{-3}} = 6,38 \cdot 10^3 \text{ Ом},$$

номинал сопротивления резистора  $R_{\Sigma 2} = 6,2 \text{ кОм}$ .

Определим сопротивление резистора базового делителя:

$$R_{\Sigma 1} = R_{\Sigma 2} \cdot \left( \frac{U_{\Pi}}{U_{\text{БЭП}} + I_{\text{КП}}} - 1 \right) = 6,2 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{20}{0,53 + 15 \cdot 10^{-3} \cdot 390} - 1 \right) = 13,23 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

номинал резистора  $R_{\Sigma 1} = 13 \text{ кОм}$ .

Найдём эквивалентное сопротивление базового делителя:

$$R_{\text{Д}} = \frac{R_{\Sigma 1} R_{\Sigma 2}}{R_{\Sigma 1} + R_{\Sigma 2}} = \frac{13 \cdot 10^3 \cdot 6,2 \cdot 10^3}{13 \cdot 10^3 + 6,2 \cdot 10^3} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Ом}.$$

По выходным характеристикам транзистора (рис. 2 б) определим  $h_{21Э}$  в рабочей точка транзистора:

$$h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_6} = \frac{10,6 \cdot 10^{-3}}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 106.$$

По входным характеристикам (рис. 2а) найдём  $h_{11Э}$  в рабочей точке:

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{6Э}}{\Delta I_B} = \frac{0,125}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 625 \text{ Ом}.$$

Найдём входное сопротивление каскада:

$$R_{ВХ} = \frac{h_{11Э} R_D}{h_{11Э} + R_D} = \frac{625 \cdot 4,2 \cdot 10^3}{625 + 4,2 \cdot 10^3} = 540 \text{ Ом}.$$

Рассчитаем выходное сопротивление каскада:

$$R_{ВЫХ} \approx R_K = 620 \text{ Ом}.$$

Построим на выходных характеристиках транзистора нагрузочную прямую по переменному току, проходящую через рабочую точку С и имеющую наклон:

$$\frac{\Delta I_K}{\Delta U_{КЭ}} = 1/R_H = 5,32 \cdot 10^{-3} \text{ А/В}.$$

Находим амплитуду тока базы по выходным характеристикам:

$$I_{6m} = \frac{\Delta I_6}{2} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Определим по входным характеристикам амплитуду входного напряжения транзистора:

$$U_{6m} = \frac{\Delta U_{6Э}}{2} = \frac{0,125}{2} = 62,5 \cdot 10^{-3} \text{ В}.$$

Определим коэффициент усиления каскада по току:

$$K_I \approx h_{21Э} \frac{R_H}{R_H} = 106 \frac{188}{270} = 73,8.$$

Найдём коэффициент усиления каскада по напряжению:

$$K_U = K_I \frac{R_H}{R_G + R_{ВХ}} = 73,8 \frac{270}{550 + 540} = 18,2.$$

Рассчитаем коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = K_I K_U = 18,2 \cdot 73,8 = 1349.$$

Определим амплитуду напряжения источника сигнала:

$$U_{Gm} = \frac{U_{Hm}}{K_U} = \frac{2}{18,2} = 0,11 \text{ В}.$$

Распределим частотные искажения в области нижних частот, вносимые ёмкостями конденсаторов  $C_{P1}$ ,  $C_{P2}$ ,  $C_{61}$ , равномерно между ними:

$$M_{HC} = \sqrt[3]{M_H} = \sqrt[3]{1,41} = 1,12.$$

Рассчитаем ёмкость разделительного конденсатора:

$$C_{P1} \geq \frac{1}{2\pi F_H (R_G + R_{ВХ}) \sqrt{M_{HC}^2 - 1}} = \frac{1}{6,28 \cdot 20(550+540) \sqrt{1,12^2 - 1}} = 1,45 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}.$$

выбираем номинал электролитического конденсатора  $C_{P1} = 20 \text{ мкФ}$ .

Определим ёмкость разделительного конденсатора:

$$C_{P2} \geq \frac{1}{2\pi F_H (R_{ВЫХ} + R_H) \sqrt{M_{HC}^2 - 1}} = \frac{1}{6,28 \cdot 20(620+270) \sqrt{1,12^2 - 1}} = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}.$$

выбираем номинал ёмкости электролитического конденсатора  $C_{P2} = 20 \text{ мкФ}$ .

Найдём ёмкость блокировочного конденсатора:

$$C_{61} \geq \frac{1}{2\pi F_H R_H \sqrt{M_{HC}^2 - 1}} = \frac{1}{5,28 \cdot 20 \cdot 188 \sqrt{1,12^2 - 1}} = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}.$$

выбираем ёмкость электролитического конденсатора  $C_{01} = 100 \text{ мкФ}$ .

Принципиальные электрические схемы устройств на операционных усилителях:

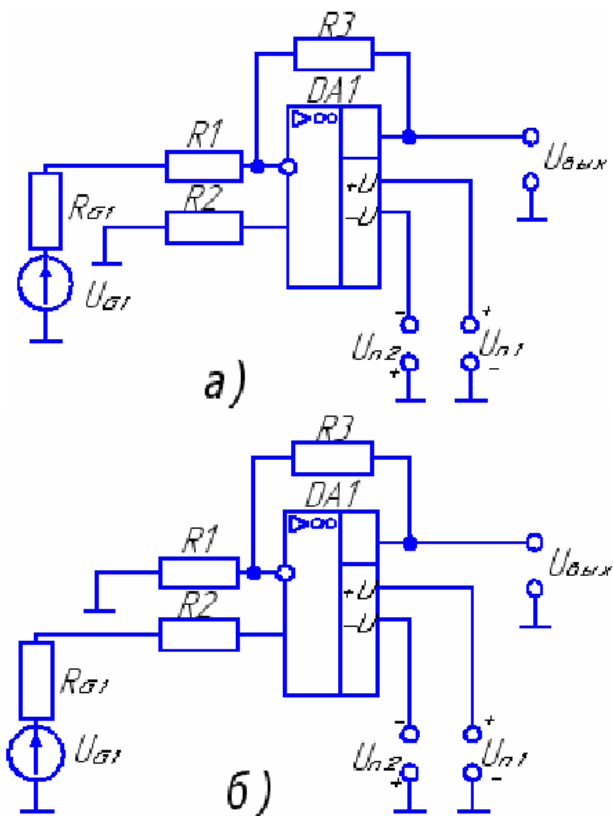


Рис. 4:

а) Инвертирующий усилитель постоянного тока, б) неинвертирующий усилитель постоянного тока

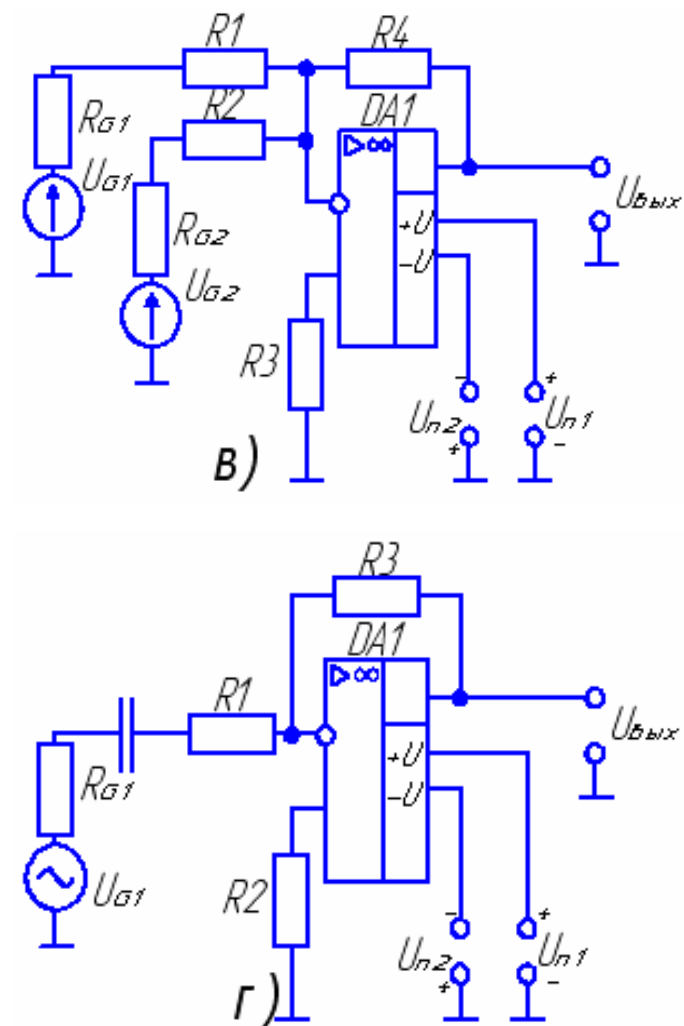


Рис. 4:

в) суммирующий усилитель постоянного тока, г) инвертирующий усилитель переменного тока.

### К пункту 2.1.

Вычертить заданную принципиальную электрическую схему.

Расчет значений величин элементов схемы производить в порядке, приведенном в таблице 5, для усилителей переменного и постоянного тока (рис. 4, а, 4,б, 4, г, 4, д) или в таблице 6, для сумматора (рис. 4,в). После расчета каждого значения величины следует выбирать номинал по приложениям 2, 3. Номиналы сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов (до 10 мкФ) выбирают из приложения 2. Если ёмкость конденсатора выше 10 мкФ применять электролитические конденсаторы, номиналы которых указаны в приложении 3.

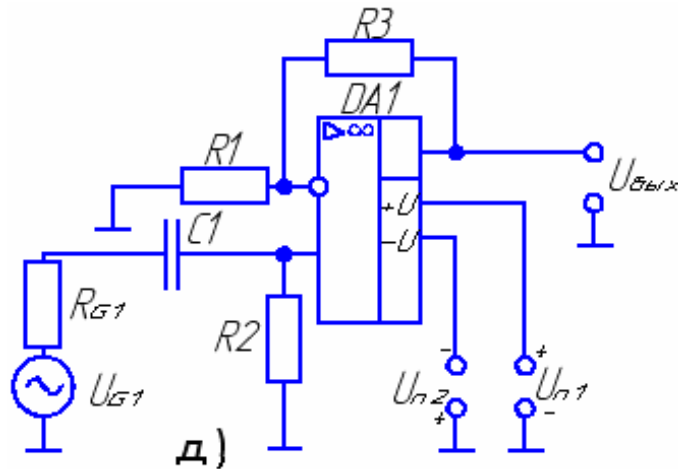


Рис. 4:

д) неинвертирующий усилитель переменного тока.

Сопротивления резисторов на входе ОУ выбираются в 5 — 10 раз выше сопротивления источника сигнала, чтобы избежать значительного шунтирования источника.

Для компенсации смещения нулевого напряжения на выходе ОУ вызванное входными токами ОУ, общие сопротивления резисторов, подключенных к различным дифференциальным входам, равны ( $R_1 = R_2$ ; рис. 4,а; 4,б; 4,г; 4,д;  $R_3 = R_1 \parallel R_2$ ; рис. 4, в).

### К пункту 2.2.

Выбирать ОУ по приложению 4 следует исходя из коэффициента усиления по напряжению  $K_{УОУ} \gg K_{У1} + K_{У2}$  (для схем рис. 4 а, б, г, д;  $K_{У2} = 0$ ) и сопротивления источника сигнала:

$$R_G \leq 10 \text{ кОм}, 140 \text{ УД7}, 140 \text{ УД6}$$

$$10 \text{ кОм} < R_G \leq 75 \text{ кОм} \quad 140 \text{ УД6}, 140 \text{ УД14}$$

$$75 \text{ кОм} < R_G \leq 600 \text{ кОм} \quad 140 \text{ УД14}, 140 \text{ УД8}, \text{ КР544 УД1}$$

$$600 \text{ кОм} < R_G \quad 140 \text{ УД8}, \text{ КР544 УД1}.$$

Необходимо проверить выбранный ОУ.

Операционный усилитель должен обеспечить требуемый динамический диапазон выходных напряжений:

$$D = 20 \lg \frac{U_{ВЫХ \max}}{U_{ВЫХ \min}} ;$$

где D — динамический диапазон, дБ;

$U_{ВЫХ \max}$  — максимальное выходное напряжение, В;

$U_{ВЫХ \min}$  — минимальное выходное напряжение, В.

Минимальное выходное напряжение ОУ ограничено напряжением смещения нуля, вызванное разностью входных токов, внутренним смещением ОУ и их тепловыми дрейфами.

Порядок проверки ОУ по напряжению смещения нуля приведен в таблице 7.

В формулах таблицы 7 использованы обозначения:

D  $i_{ВХ}$  — разность входных токов ОУ, А;

DD  $i_{ВХ}$  — тепловой дрейф разности входных токов, А/°С;

$\frac{dT}{dT}$

$T_m$  — наибольшая температура окружающей среды, СС;

$T_0$  — температура, при которой измеряются параметры ОУ, 25°С;

$U_{ВЫХ \max \text{ ОУ}}$  — максимальное выходное напряжение ОУ при номинальном питании, В;

D — динамический диапазон выходного напряжения, дБ;

$U_{СМВ}$  — внутреннее смещение на входе ОУ, В;

D  $U_{СМВ}$  — тепловой дрейф внутреннего смещения на входе ОУ, В/°С.

$\frac{dT}{dT}$

Если  $U_{СМ \text{ доп}} \geq U_{СМ \text{ с}}$ , то ОУ выбран правильно. В противном случае, необходимо выбрать другой ОУ из приложения 4 и выполнить вновь пункт 2.2 задания. Напряжение питания схемы типовое для ОУ.



### К пункту 2.3.

Максимальная амплитуда входного сигнала для усилителей постоянного и переменного токов (рис. 4,а; 4,б; 4,г; 4,д):

$$U_{Gm1} = \frac{U_{ВЫХ \max ОУ}}{K_{U1}} ;$$

В суммирующем усилителе (рис. 4,в) предполагается одинаковое влияние входных напряжений на выходное:

$$U_{Gm1} = \frac{U_{ВЫХ \max ОУ}}{2 K_{U1}} ;$$

$$U_{Gm2} = \frac{U_{ВЫХ \max ОУ}}{2 K_{U2}} .$$

Таблица 5.

№ п/п	Расчётные величины	Инвертирующий усилитель постоянного тока (рис. 4,а)	Неинвертирующий усилитель постоянного тока (рис. 4,б)	Инвертирующий усилитель переменного тока (рис. 4,г)	Неинвертирующий усилитель переменного тока (рис. 4,д)
1	Сопротивление резистора R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub> = (5 ÷ 10) R <sub>G1</sub>	R <sub>1</sub> = (5 ÷ 10) R <sub>G1</sub>	R <sub>1</sub> = (5 ÷ 10) R <sub>G1</sub>	R <sub>1</sub> = (5 ÷ 10) R <sub>G1</sub>
2	Сопротивление резистора R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> = R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub> = R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub> = R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub> = R <sub>1</sub>

3	Сопротивление резистора цепи обратной связи R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub> = K <sub>U1</sub> R <sub>1</sub>	R <sub>3</sub> = (K <sub>U1</sub> - 1) R <sub>1</sub>	R <sub>3</sub> = K <sub>U1</sub> R <sub>1</sub>	R <sub>3</sub> = (K <sub>U1</sub> - 1) R <sub>1</sub>
4	Ёмкость разделительного конденсатора C <sub>1</sub>	-	-	C <sub>1</sub> = = 1 / (2p F <sub>H</sub> (R <sub>G</sub> + +R <sub>BX</sub> ) √M <sub>H</sub> <sup>2</sup> - 1 )	C <sub>1</sub> = = 1 / (2p F <sub>H</sub> (R <sub>G</sub> + +R <sub>BX</sub> ) √M <sub>H</sub> <sup>2</sup> - 1 )

Таблица 6.

№ п/п	Расчётная величина	K <sub>U1</sub> R <sub>G1</sub> ≥ K <sub>U2</sub> R <sub>G2</sub>	K <sub>U1</sub> R <sub>G1</sub> < K <sub>U2</sub> R <sub>G2</sub>
1	Сопротивление резистора R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub> = (5 ÷ 10) R <sub>G1</sub>	R <sub>1</sub> = (5 ÷ 10) R <sub>G2</sub> $\frac{K_{U2}}{K_{U1}}$
2	Сопротивление резистора R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> = R <sub>1</sub> $\frac{K_{U1}}{K_{U2}}$	
3	Сопротивление резистора R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub> = $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	
4	Сопротивление резистора цепи обратной связи R <sub>4</sub>	R <sub>4</sub> = K <sub>U1</sub> R <sub>1</sub>	

Таблица 7.

№ п/п	Расчётная величина	схема				
		рис. 4,а	рис. 4,б	рис. 4,в	рис. 4,г	рис. 4,д
1	Сопротивление по постоянному току подключённое между входом ОУ и нулевой точкой R <sub>ВХО</sub>	R <sub>ВХО</sub> = R <sub>2</sub>	R <sub>ВХО</sub> = R <sub>2</sub>	R <sub>ВХО</sub> = R <sub>3</sub>	R <sub>ВХО</sub> = R <sub>2</sub>	R <sub>ВХО</sub> = R <sub>2</sub>

2	Допустимое напряжение смещения приведённое к входу ОУ $U_{CM \text{ доп}}$	$U_{CM \text{ доп}} = \frac{U_{\text{ВЫХ max ОУ}}}{K_{U1} + K_{U2}} 10^{-D/20}$
3	Напряжение смещения ОУ вызванное разностью входных токов и её тепловым дрейфом $U_{CM1}$	$U_{CM1} = D i_{BX} R_{BXO} + \left( \frac{DD i_{BX}}{DT} \right) R_{BXO} (T_m - T_0)$
4	Напряжение смещения вызванное внутренним смещением ОУ и его тепловым дрейфом $U_{CMU}$	$U_{CMU} = U_{CMB} + \frac{D U_{CMB}}{DT} (T_m - T_0)$
5	Суммарное напряжение смещения приложенное между входами ОУ $U_{CMS}$	$U_{CMS} = U_{CM1} + U_{CMU}$

Если  $U_{CM \text{ доп}} \geq U_{CMS}$ , то ОУ выбран верно.

### Пример к пункту 2.

Требуется рассчитать схему сумматора (рис. 4,в), исходные данные:

$$R_{G1} = 12 \text{ кОм}, R_{G2} = 47 \text{ кОм}, K_{U1} = 25, K_{U2} = 12, D = 30 \text{ дБ.}$$

Определяем произведение сопротивления источника сигнала на коэффициент усиления:

$$R_{G1} K_{U1} = 12 \cdot 10^3 \cdot 25 = 3 \cdot 10^5 \text{ Ом}, \\ R_{G2} K_{U2} = 47 \cdot 10^3 \cdot 12 = 5,64 \cdot 10^5 \text{ Ом},$$

так как  $R_{G1} K_{U1} < R_{G2} K_{U2}$ , рассчитываем сопротивление входного резистора  $R_1$  по формуле:

$$R_1 = (5 \div 10) R_{G2} \frac{K_{U2}}{K_{U1}} = 5 \cdot 47 \cdot 10^3 \frac{12}{25} = 113 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

выбираем по приложению 2 номинал резистора  $R_1 = 110 \text{ кОм}$ .

Находим сопротивление резистора:

$$R_2 = R_1 \frac{K_{U1}}{K_{U2}} = 110 \cdot 10^3 \frac{25}{12} = 229 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Выбираем номинал резистора  $R_2 = 220 \text{ кОм}$ .

Рассчитываем сопротивление резистора  $R_3$ , из условия одинаковых сопротивлений постоянному току во входных цепях ОУ:

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{110 \cdot 10^3 \cdot 220 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3 + 220 \cdot 10^3} = 73 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Выбираем номинал резистора  $R_3 = 75 \text{ кОм}$ .  
Определяем сопротивление цепи обратной связи:

$$R_4 = K_{U1} R_1 = 25 \cdot 110 \cdot 10^3 = 2,75 \cdot 10^6 \text{ Ом},$$

выбираем номинал резистора  $R_4 = 2,7 \text{ Мом}$ .

Так как сопротивление источника сигнала  $R_G = 47 \text{ кОм}$  ( $R_{G2} > R_{G1}$ ) и коэффициент усиления  $K_U = K_{U1} + K_{U2} = 37$ , выберем ОУ К 140 УД6 из приложения 4. К 140 УД6 имеет следующие параметры.

Коэффициент усиления по напряжению  $K_{UOY} = 70 \cdot 10^3$ . Разность входных токов ОУ  $D i_{BX} 10 \cdot 10^{-9} \text{ А}$ ; внутреннее напряжение смещения  $U_{CMB} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ В}$ ; тепловой дрейф разности входных токов  $\frac{\Delta \Delta i_{mx}}{\Delta T} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ А} / ^\circ\text{C}$  тепловой дрейф внутреннего напряжения смещения  $\Delta U_{CMB} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ В} / ^\circ\text{C}$ ;

$\frac{DT}{DT}$   
максимальное напряжение на выходе ОУ  $U_{\text{ВЫХ max ОУ}} = 11 \text{ В}$ ; типовое напряжение питания  $U_{II} = \pm 15 \text{ В}$ .

Принимаем напряжение питания ОУ сумматора  $U_{II1} = +15 \text{ В}$ ,  $U_{II2} = -15 \text{ В}$  и проверяем правильность выбора ОУ.

Рассчитаем допустимое напряжение смещения ОУ:

$$U_{CM \text{ доп}} = \frac{U_{\text{ВЫХ max ОУ}}}{K_{U1} + K_{U2}} 10^{-D/20} = \frac{11}{25 + 12} 10^{-30/20} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

Найдём напряжение смещения ОУ от разности входных токов:

$$U_{CM1} = \Delta i \cdot R_{BXO} + \left( \frac{\Delta \Delta i_{mx}}{\Delta T} \right) \cdot (T_m - T_0) = 8,4 \cdot 10^{-4}$$

Определим напряжение смещения ОУ, вызванное внутренним смещением ОУ:

$$U_{CMU} = U_{CMB} + \left( \frac{\Delta U_{CMB}}{\Delta T} \right) \cdot (T_m - T_0) = 5 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 10^{-6} \cdot (40 - 25) = 5,3 \cdot 10^{-3}$$

Суммарное напряжение смещения:

$$U_{CMS} = U_{CM1} + U_{CMU} = 0,84 \cdot 10^{-3} + 5,3 \cdot 10^{-3} = 6,14 \cdot 10^{-3} \text{ В},$$

что меньше  $U_{CM \text{ доп}}$ , следовательно, ОУ К 140 УД6 обеспечивает заданный динамический диапазон выходного напряжения во всём интервале рабочих температур. ОУ К 140 УД6 выбран правильно.

Определим максимальную амплитуду источника сигнала:

$$U_{Gm1} = \frac{U_{\text{ВЫХ max ОУ}}}{2 K_{U1}} = \frac{11}{2 \cdot 25} = 0,22 \text{ В.}$$

Найдём максимальную амплитуду источника сигнала:

$$U_{\text{ВЫХ max ОУ}} = 11$$

$$U_{Gm2} = \frac{\quad}{2 K_{U2}} = \frac{\quad}{2 \cdot 12} = 0,458 \text{ В.}$$

### К пункту 3.1.

Упрощают заданную логическую функцию, пользуясь правилами и законами алгебры логики:

а) Инверсия:

если  $X = 0$ , то  $\overline{X} = 1$ ,  
если  $X = 1$ , то  $\overline{X} = 0$ .

б) Логическое сложение (дизъюнкция):

$X + 0 = X$ ,  
 $X + 1 = 1$ ,  
 $X + X = X$ ,  
 $X + \overline{X} = 1$ ,  
 $0 + 0 = 0$ ,  
 $1 + 0 = 1$ ,  
 $1 + 1 = 1$ .

в) Логическое умножение (конъюнкция):

$0 \cdot 0 = 0$ ,  
 $0 \cdot 1 = 0$ ,  
 $1 \cdot 1 = 1$ ,  
 $X \cdot 0 = 0$ ,  
 $X \cdot 1 = X$ ,  
 $X \cdot \overline{X} = 0$ .

г) Переместительный закон:

$$X + Y = Y + X, \quad XY = YX.$$

д) Сочетательный закон:

$$(X + Y) + Z = X + (Y + Z), \quad (XY)Z = X(YZ).$$

е) Распределительный закон:

$$X(Y + Z) = XY + XZ.$$

ж) Правило склеивания:

$$X(X + Y) = X; \quad X + XY = X.$$

з) Правило двойного отрицания:

$$\overline{(\overline{X})} = X.$$

и) Теорема де Моргана:

$$\overline{XY} = \overline{X} + \overline{Y}, \quad \overline{X + Y} = \overline{X} \overline{Y}$$

### К пункту 3.2.

Таблица истинности логической функции F составляется из всех комбинаций логических переменных (X, Y, Z, ...), входящих в функцию и соответствующих этим комбинациям значений логической функции F.

### К пункту 3.3.

Вычертить функциональную электрическую схему, реализующую логическую функцию F, используя базовые элементы: (И, ИЛИ, НЕ).  
Условные графические обозначения базовых элементов даны в приложении 5.

### Пример к пункту 3.

Задана логическая функция:

$$F = XYZ + X\overline{Y}Z + \overline{X}YZ.$$

Упростим данную функцию, пользуясь законами алгебры логики:

$$F = XY(Z + \overline{Z}) + XYZ + \overline{X}YZ = XY + YZ(X + \overline{X}) = XY + YZ = Y(X + Z).$$

Составим таблицу истинности:

X	Y	Z	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

На рис. 5 функциональная электрическая схема, реализующая функцию  $F = Y(X + Z)$ :

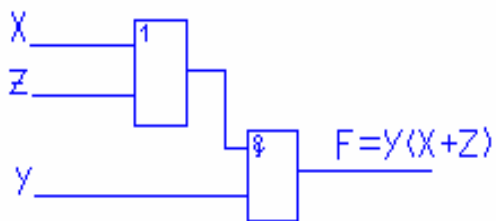


Рис. 5 Реализация функции  $F = Y(X+Z)$ .

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. Таблица 8.

#### Параметры и характеристики некоторых широко применяемых транзисторов.

Транзистор	КТ315Б	КТ315Г	КТ375А	КТ375Б	КТ3102А	КТ3102Б
Параметр						
Предельно допустимое напряжение коллектор-эмиттер, $U_{кэ доп}$ , В	15	25	60	30	50	30
Максимальный постоянный ток коллектора $I_{к доп}$ , мА	100	100	100	100	100	100
Допустимая мощность рассеивания на коллектор $P_{к доп}$ , мВ	150	150	400	400	250	250
Статический коэффициент усиления тока базы в схеме с ОЭ	50-350	50-350	10-100	50-140	100-250	200-500
Максимальная температура перехода $T_{п max}$ , $^{\circ}C$	120	120	125	125	125	125
Входная характеристика рис. 6	а	а	в	в	д	д
Выходная характеристика рис. 6	б	б	г	г	е	е

Входные и выходные характеристики транзисторов.

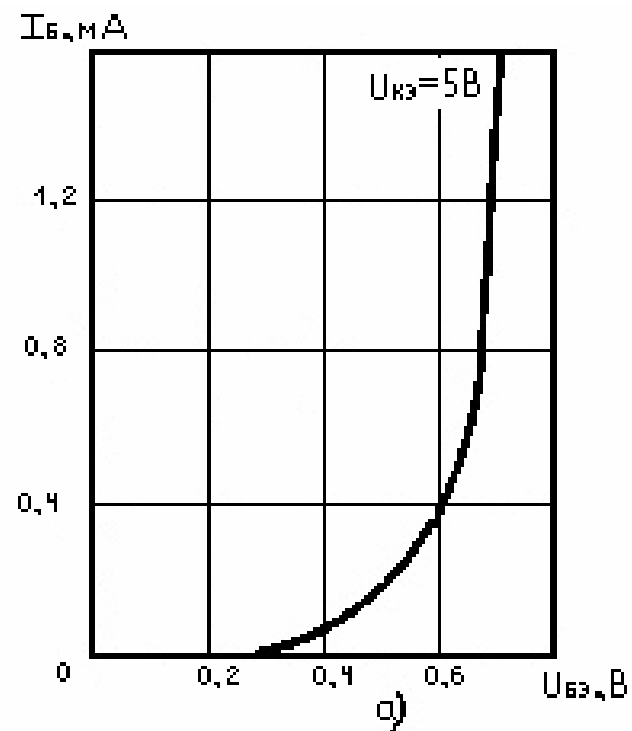


Рис. 6.  
а) входная КТ315 Б, Г.

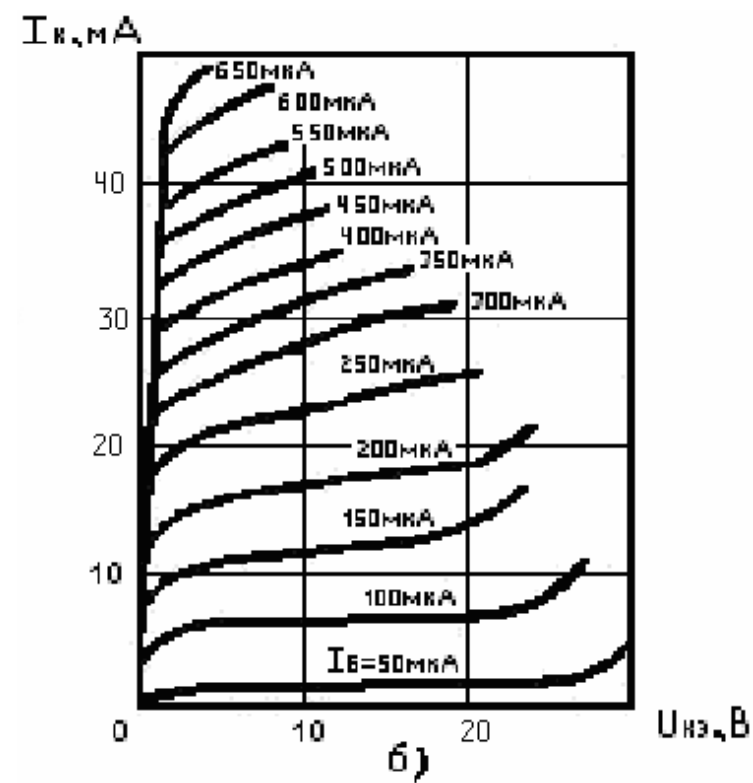


Рис. 6:  
б) выходная КТ315 Б, Г.

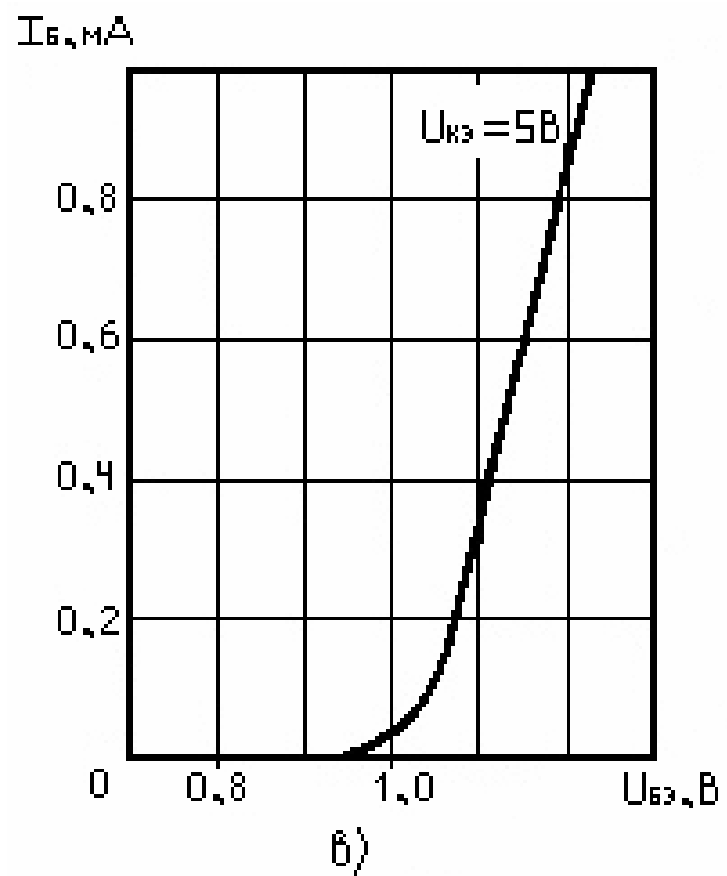


Рис. 6:  
в) входная КТ375 А, Б.

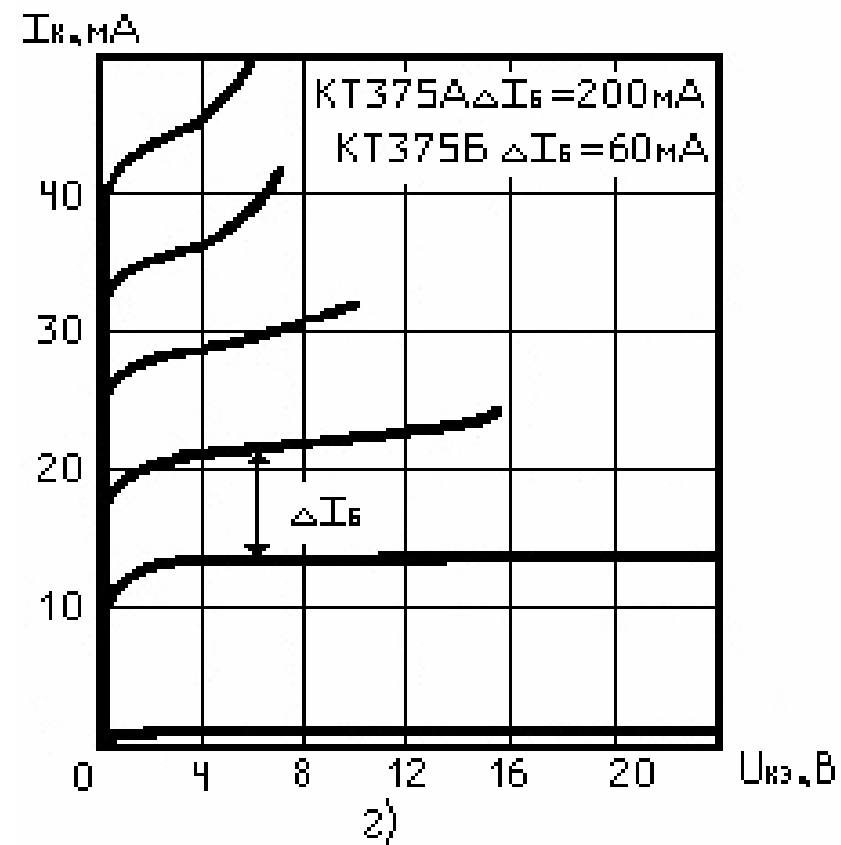


Рис. 6  
г) выходная КТ375 А, Б.

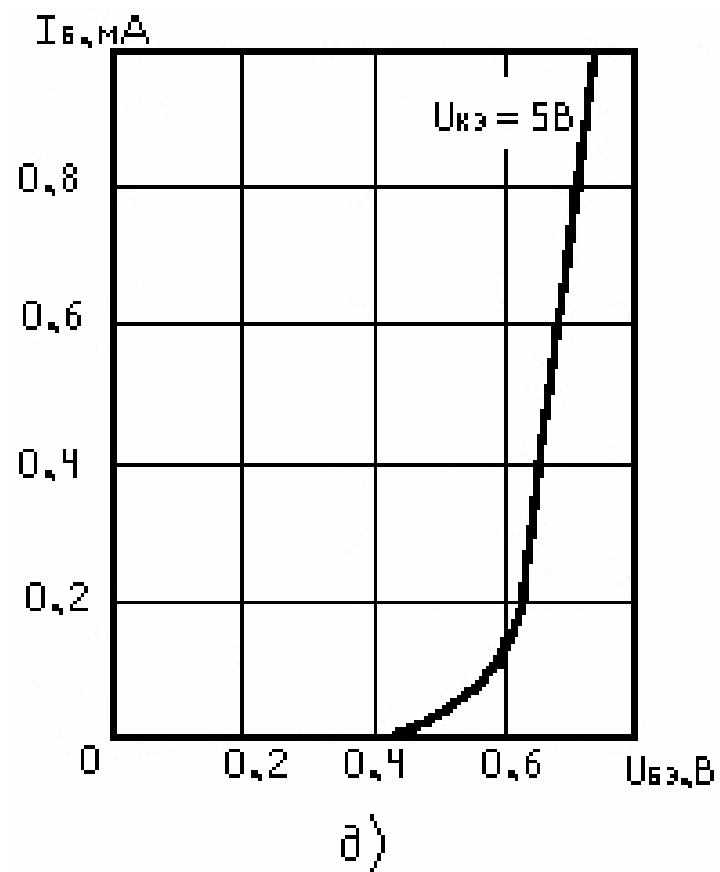


Рис.6:  
д) входная КТ3102 А, Б;

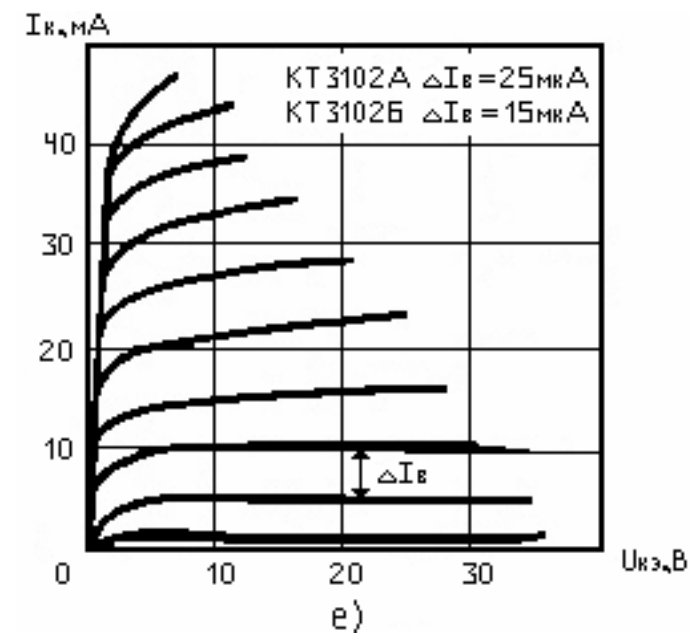


Рис. 6  
е) выходная КТ3102 А, Б.

Приложение 2.

**Номиналы сопротивлений резисторов  
и ёмкостей конденсаторов  
(не электролитических).**

Номинальное сопротивление резистора выбирается по расчётному из номиналов ряда E24:

$$R = K \cdot 10^n \text{ Ом},$$

где  $K$  – множитель ряда E24 (см. табл. 9);

$n$  – степенной множитель.

Номинал ёмкости конденсатора выбирается по расчётной из номиналов ряда E24:

C = K\*10<sup>n</sup> Ф.

Таблица 9.

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

Приложение 3.

Номиналы ёмкостей электролитических  
Конденсаторов K50-6, K50-16.

Номиналы электролитических конденсаторов K50-6, K50-16 и их рабочие напряжения в таблице 10.

Таблица 10.

Рабочее напряжение, В	Номинальная ёмкость, мкФ	Рабочее напряжение, В	Номинальная ёмкость, мкФ
6,3	5	16; 25	500
	10		1000
	20		2000
	50		4000
	100	50	1
	200		2
10	500		5
	10		10
	20		20
	50		50
	100		100
	200		200
	500		500
	1000		1000
	2000		2000
	4000		4000

16; 25	1	100; 160	1
	2		2
	5		5
	10		10
	20		20
	50		
	100		
	200		

Приложение 4.

Параметры операционных усилителей широкого применения.

Таблица 11.

Параметр	K140УД6	K140УД7	K140УД8	K140УД14	KP544УД1
Коэффициент усиления по напряжению K <sub>ОУ</sub>	70*10 <sup>3</sup>	50*10 <sup>3</sup>	50*10 <sup>3</sup>	50*10 <sup>3</sup>	50*10 <sup>3</sup>
Разность входных токов D i <sub>ВХ</sub> , нА	10	50	0,15	0,2	0,15
Внутреннее напряжение смещения U <sub>СМВ</sub> , В	5	5	20	2	15
Тепловой дрейф внутреннего напряжения смещения мкВ / °С $\frac{D U_{СМВ}}{DT}$	20	6	50	0	20
Тепловой дрейф разности входных токов нА / °С $\frac{DD i_{ВХ}}{DT}$	0,1	0,4	0	0	0
Максимальное напряжение на выходе ОУ U <sub>ВЫХ max ОУ</sub> , В	11	11,5	10	10	10
Номинальное напряжение питания U <sub>П</sub> , В	± 15	± 15	± 15	± 15	± 15



**Условные графические обозначения (УГО)  
базовых логических элементов.**

УГО базовых логических элементов представлены на рис. 7.

