

Федеральное агентство по образованию

Государственное общеобразовательное учреждение высшего профессионального образования

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАОЧНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра приборов контроля и систем экологической безопасности

**СХЕМОТЕХНИКА
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ЗАДАНИЯ НА КОНТОЛЬНЫЕ РАБОТЫ
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ
РАБОТ

Факультет технологии и автоматизации управления в машиностроении

Специальность

200101 (190100) – приборостроение

Специализации:

– контрольно-измерительные приборы и системы (190105),

– приборы и системы таможенного, экспортного и импортного контроля (190120)

Направление подготовки бакалавра:

200100 (551500) – приборостроение

Санкт-Петербург
2006

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 681.5 (621.3)

Схемотехника измерительных устройств: Рабочая программа, задания на контрольные работы, методические указания к выполнению контрольных работ – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006. – 41 с.

Рабочая программа разработана в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 653700 – "Приборостроение" (специальность 190100 – "Приборостроение") и направлению подготовки бакалавра 551500 – «Приборостроение».

Методический комплекс предназначен для студентов специальности 200101 (190100) – "Приборостроение" и включает рабочую программу, задания на контрольные работы, методические указания к изучению разделов курса и к выполнению контрольных работ.

Рассмотрено на заседании кафедры приборов контроля и систем экологической безопасности 1 июля 2005 г. протокол № 18. Одобрено методической комиссией факультета технологии и автоматизации управления в машиностроении 1 декабря 2005 г протокол № 3.

Рецензенты:

О. П. Германович, д-р техн. наук, проф. кафедры ПЭ СЗТУ;

Д. И. Шашков, канд. техн. наук, доц. кафедры "Автоматика и электротехника" СПбГАСУ.

Составители: В. Ф. Новопашин, ст. препод.;

И. Ф. Кацан, канд. техн. наук, доц.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2006

СХЕМОТЕХНИКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина "Схемотехника измерительных устройств" рассматривает элементы аналоговых и цифровых электронных схем, усилители измеряемых величин, АЦП и ЦАП, применяемые в приборах, схемотехнику аналоговых и цифровых информационно-измерительных устройств.

Целью преподавания дисциплины является ознакомление студентов с принципами построения и работы аналоговых и цифровых информационно-измерительных устройств.

Изучение дисциплины "Схемотехника измерительных устройств" базируется на курсах "Информатика", "Физика", "Общая электротехника", "Электроника и микропроцессорная техника".

Изучение дисциплины "Схемотехника измерительных устройств" закладывает основу для последующего изучения курсов "Проектирование информационно-измерительных систем" и "Компьютерные технологии в приборостроении".

В результате изучения дисциплины "Схемотехника измерительных устройств" будущие инженеры получают знания по элементной аналоговой и цифровой базе, по принципам работы, устройству и параметрам измерительных приборов. Наличие этих знаний должно проявиться при эксплуатации контрольно-измерительных приборов, при изучении их работы и знакомстве с принципиальными электрическими схемами, а также при выборе и комплектовании необходимого и достаточного набора приборов для решения измерительных задач.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Содержание дисциплины по государственному образовательному стандарту

Схемотехника измерительных устройств.

Схемотехника элементов аналоговых измерительных каналов, усилители измеряемых величин, выпрямители; функциональные преобразователи; АЦП и ЦАП; схемотехнические методы защиты от помех; синтез комбинационных логических устройств различного назначения; схемотехника цифровых устройств; схемотехника информационно-измерительных устройств, работающих на основе различных физических принципов.

1.2. Рабочая программа

Объем дисциплины 200 часов

1.2.1. Введение

Современное состояние электроники. Применение электронных интегральных компонентов и микропроцессоров в приборах – основа развития измерительной техники. Компьютерное моделирование схемных решений.

1.2.2. Измерительная информация и измерительный канал

Измерительная информация. Сигналы. Измерение.

Структура измерительного канала. Аналоговый и аналого-цифровой измерительные каналы.

Методы измерений. Основные факторы, влияющие на погрешности измерения.

Основные задачи схемотехники приборов.

1.2.3. Аналоговые электронные устройства

1.2.3.1. Основные технические показатели аналоговых электронных устройств

Основные определения и классификация. Принципы построения. Количественная оценка усиления. Искажения, вносимые усилителем.

1.2.3.2. Обратные связи в усилителях

Основные определения, классификация видов и свойства обратных связей.

1.2.3.3. Транзисторный усилительный каскад

Общая постановка задачи. Схемы включения биполярного транзистора. Схемы замещения транзисторов. Основные параметры транзисторов (линейная модель, h -параметры). Вольтамперные характеристики транзистора.

Полевые транзисторы с управляющим p - n переходом и МОП - транзисторы. Характеристики. Параметры. Основные схемы включения полевых транзисторов. Вольтамперные характеристики.

1.2.3.4. Режимы работы и классы усиления транзистора

Режимы малого и большого сигналов.

Классы усиления – А, В, АВ.

1.2.3.5. Усилительный каскад с общим эмиттером

Схема резистивного каскада ОЭ с заблокированным сопротивлением в цепи эмиттера. Режим большого сигнала. Графо-аналитический метод расчета элементов схемы каскада. Расчет элементов схемы. Основные параметры каскада. Резистивный каскад ОЭ с неблокированным сопротивлением в цепи эмиттера.

Схема резистивного каскада ОК (эмиттерный повторитель). Расчет элементов схемы. Основные параметры каскада.

1.2.3.6. Определение основных технических показателей транзисторного каскада ОЭ и ОК в режиме малого сигнала

1.2.3.7. Усилительный каскад на полевом транзисторе с общим истоком

Расчет схемы резистивного каскада ОИ с заблокированным сопротивлением в цепи истока при работе в режиме большого сигнала.

1.2.4. Электронные устройства на операционных усилителях

1.2.4.1. Усилители постоянного тока (УПТ)

УПТ с непосредственными связями. Дрейф УПТ. Особенности и недостатки УПТ с непосредственными связями.

1.2.4.2. Дифференциальные усилительные каскады (ДУ). Устройство, принцип действия и основные технические характеристики УПТ и ДУ. Коэффициент усиления по напряжению, коэффициент ослабления синфазного сигнала.

1.2.4.3. Операционные усилители (ОУ). Определение. Входные и выходные параметры операционных усилителей. Понятие идеального ОУ. Обратная связь в электронных каскадах на операционных усилителях.

1.2.4.4. Основные схемы включения операционных усилителей.

1.2.4.5. Компараторы.

1.2.4.6. Дифференциальные усилительные каскады на ОУ в измерительных устройствах. Основная схема ДУ на ОУ. Синфазное напряжение. Дистанционное измерение напряжения. Измерительный усилитель.

1.2.4.7. Источники питания. Основные параметры. Параметрические и компенсационные стабилизаторы напряжения. Схемы стабилизации на ОУ.

1.2.5. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

1.2.5.1. Дискретизация аналоговых сигналов.

1.2.5.2. АЦП. Определение. Классификация. Основные параметры. Параллельные АЦП. АЦП с двухтактным интегрированием. АЦП последовательного приближения. Микросхемы АЦП. Выбор АЦП.

1.2.5.3. ЦАП. Определение. Классификация. Основные параметры. Параллельные ЦАП. ЦАП с матрицей постоянного импеданса.

- 1.2.5.4. Устройства выборки-хранения. Функции. Микросхемы.
- 1.2.5.5. Сопряжение интегральных ЦАП и АЦП с микропроцессорами и микроЭВМ.
- 1.2.5.6. Применение преобразователей в измерительных устройствах.

1.2.6. Цифровые элементы и схемы

- 1.2.6.1. Представление чисел и выполнение арифметических операций.
- 1.2.6.2. Основы булевой алгебры. Преобразования логических функций. Системы двух аргументов.
- 1.2.6.3. Логические элементы. Основные типы и параметры логических элементов. Схемотехническая реализация интегральных логических схем (ТТЛ, ТТЛШ, И²Л, ЭСЛ, КМОПТЛ).
- 1.2.6.4. Функциональные схемы комбинационного типа. Преобразователи кодов. Шифраторы и дешифраторы. Мультиплексоры демультиплексоры. Компараторы. Сумматоры.
- 1.2.6.5. Последовательностные устройства. Триггеры типа RS, D, T и JK. Регистры. Счетчики.
- 1.2.6.6. Проектирование цифровых комбинационных узлов и блоков.

1.2.7. Микропроцессорные измерительные устройства

- 1.2.7.1. Основные определения.
- 1.2.7.2. Структура микропроцессорных систем. Функции элементов. Основные режимы работы.
- 1.2.7.3. Однокристалльные микро-ЭВМ (контроллеры). Применение контроллеров в приборах.
- 1.2.7.4. Сбор и обработка данных измерений.

1.3. Тематический план лекций для студентов очно-заочной формы обучения

	Специализация	
	190105 (часы)	190120 (часы)
Введение.	1	1
1.Измерительная информация, измерительный канал.	3	2
3. Методы измерений.	4	2
4. Аналоговые электронные устройства.	4	4
5. Усилители постоянного тока.	4	2
6. Схемы на операционных усилителях.	4	4
8. Дифференциальные усилительные каскады на операционных усилителях.	4	1
9. Аналого-цифровые преобразователи.	4	2
10. Цифро-аналоговые преобразователи.	4	2
11. Цифровые элементы и схемы.	4	4
12.Синтез комбинационных логических устройств.	4	2

13. Микропроцессорные измерительные устройства.	4	4
Итого	44	30

1.4. Темы практических занятий для специализации 190120

1. Расчет транзисторного усилителя.	4 часа.
2. Расчет усилителя звуковой частоты на ОУ.	4 часа.
3. Синтез комбинационных схем.	4 часа.
Итого	12 часов.

1.5. Примерный перечень лабораторных работ для студентов очно-заочной формы обучения (8 часов)

1. Исследование транзисторного усилителя.	2 часа.
2. Исследование цифровых логических схем.	2 часа.
3. Исследование работы электронного блока, содержащего усилитель напряжения, формирователь прямоугольных импульсов и счетчик.	2 часа.
4. Исследование схем на операционных усилителях.	2 часа.
5. Исследование дифференциального усилителя на операционном усилителе.	2 часа.
6. Элементы цифровых и микропроцессорных устройств.	2 часа.

2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной:

1. *Харт Х.* Введение в измерительную технику/ Пер. с нем. – М.: Мир, 1999. – 391 с.
2. *Карлащук В. И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. – М.: Солон-Р, 1999.
3. *Бессчетнова Л. В., Кузьмин Ю. И., Малинин С. И.* Схемотехника аналоговых электронных устройств: Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2002. – 128 с.
4. *Забродин Ю. С.* Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с.
5. *Гусев В. Г., Гусев Ю. М.* Электроника: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 495 с.

Дополнительный:

6. *Буранов С. А.* Электроника, ч. 1: Учеб. пособие. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СЗТУ, 2003.
7. *Кофлин Р., Дискон Ф.* Операционные усилители и линейные интегральные схемы /Пер. с англ. – М.: Мир, 1979.– 360 с.
8. *Электроника:* Справочная книга / Ю. А. Быстров, Я. М. Великсон, В. Д. Вогман и др./ Под ред. Ю. А. Быстрова. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 1996. – 554 с.
9. Расчет электронных схем. Примеры и задачи: Учеб. пособие для вузов по спец. электрон. техники / Г. И. Изъюрова, Г. В. Королев, В. А. Терехов и др. – М.: Высш. школа, 1987. – 335 с.
10. *Цифровые* и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/С. В. Якубовский, Л. И. Ниссельсон, В. И. Кулешова и др./ Под ред. С. В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496 с.
11. *Шляндин В. М.* Цифровые измерительные устройства: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 335 с.
12. *Шевцов Е. К., Ревун М. П.* Электрические измерения в машиностроении.– М.: Машиностроение, 1989. – 168 с.
13. *Шило В. Л.* Популярные цифровые микросхемы: Справочник.– М.: Радио и связь, 1988. – 352 с.
14. *Куликовсккий К, Л., Купер В. Я.* Методы и средства измерений: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.
15. *Алексенко А. Г., Шагурин И. И.* Микросхемотехника: Учеб. пособие для вузов / Под ред. И. П. Степаненко. – М.: Радио и связь, 1982. – 416 с.
16. *Каган Б. М., Сташин В. В.* Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
17. *Лачин В. И., Савелов Н. С.* Электроника: Учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2002. – 576 с.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА

В курсе "Схемотехника измерительных устройств" изучаются элементная база и основы работы современных электронных приборов, применяемых в машиностроении.

Для закрепления знаний, полученных при изучении теоретического материала, выполняются две контрольные работы. Правильность расчетов проверяется в процессе выполнения лабораторных работ по исследованию разработанных электронных схем. Моделирование электронных схем в процессе выполнения лабораторных работ производится в системе схемотехнического моделирования Electronics Workbench.

Учебными планами по курсу предусмотрены зачет и экзамен.

3.1. Введение

При изучении данного курса следует разобраться не только в многообразии схемных решений узлов и блоков приборов, но и понять, что прибор в процессе эксплуатации должен быть не только точным, но и удобным в работе, надежным, иметь хорошую шкалу, быстро настраиваться и т. п.

Применение электронных интегральных компонентов и микропроцессоров в приборах – основа развития измерительной техники [1, с 5 –18].

Компьютерное моделирование схемных решений при изучении данного курса выполняется в процессе проведения лабораторных работ в системе схемотехнического моделирования Electronics Workbench. С возможностями и методикой проведения экспериментов можно ознакомиться просмотрев [2].

3.2. Измерительная информация и измерительный канал

При изучении данного раздела следует понять и запомнить основные факторы, характеризующие весь процесс измерения от появления измерительной информации до выдачи конечного результата – значения измеренного параметра наблюдателю и ЭВМ верхнего уровня.

Измерительная информация возникает в процессе установления взаимного соответствия чувствительного элемента датчика и измеряемой величины. На выходе датчика измерительная информация представляется в виде сигналов, являющихся ее носителями. Наиболее наглядно процесс измерения иллюстрируется схемой измерительной цепи [1, с 31].

Электрические сигналы измерительной информации подразделяют на *аналоговые* (непрерывные) и *цифровые* (квантованные) [1, с 55 – 72]. Соответственно измерительные каналы и средства измерения подразделяют на аналоговые и цифровые. В процессе преобразования сигналов возникают погрешности измерения. Причины возникновения погрешностей многообразны [1, с 28 – 32]. Среди них: различие между искомой величиной и величиной

измеряемой чувствительным элементом датчика, взаимное влияние объекта и средства измерения, неидеальность характеристик используемых элементов, воздействие помех, внешней среды и др.

Понимание устройства прибора, как правило, базируется на достаточных знаниях принципов работы и схемных решений различных электронных узлов и блоков.

Схемотехника занимается проектированием электронных технических устройств и систем.

"Искусство в электронике заключается в том, чтобы одновременно *охватить все существенные факторы*, представить себе схемную конфигурацию, которая позволит решить данную задачу" (М. В. Гальперин).

3.3. Аналоговые электронные устройства

Изучение данного раздела следует начать с определения и классификации аналоговых электронных устройств (АЭУ). Под АЭУ в данном курсе понимаются устройства, предназначенные для усиления и обработки сигналов, изменяющихся по тому же закону, что и описываемые ими процессы, т. е. аналоговые сигналы [3, с5]. Усилители рассматриваемых сигналов предназначены для увеличения параметров электрического сигнала. Следует запомнить общую классификацию усилителей с линейным режимом работы в зависимости от вида АЧХ: УПТ, УЗЧ, УВЧ, ШПУ, УПУ [3, с 5 – 7; 4, с 87 – 89]. Усилитель может состоять из нескольких каскадов, каждый из которых выполняет строго определенные функции, которые в процессе изучения курса будут рассматриваться. Основными показателями, характеризующими усиление, являются коэффициенты усиления по мощности, по напряжению, по току и КПД. Кроме того, следует внимательно рассмотреть вопросы линейных и нелинейных искажений, вносимых усилителем и их количественную оценку [3, с 10 – 18].

При рассмотрении обратных связей в усилителях важными являются вопросы их классификации по фазе действия обратной связи (ООС, ПОС, КОС) и структуре схем обратной связи (ОС по напряжению и току, ОС последовательного и параллельного типа) [3, с 30 – 34].

Рассматривая транзисторный усилительный каскад, следует уяснить общую постановку задачи, целью которой является использование общих методов анализа электрических цепей на основе схем замещения транзистора и усилительного каскада [3, с 52, 59 – 62; 4 с 55 – 59].

Рассмотрение основных параметров и ВАХ биполярных и полевых транзисторов необходимо для дальнейшего понимания работы схем [3, с 59 – 72; 4, с 58 – 61].

При проектировании и анализе работы транзисторных каскадов выделяют режимы малого и большого сигнала. При рассмотрении этих вопросов следует четко представлять, что в режиме малого сигнала используется линейная модель транзистора, а при больших сигналах линейная модель не приемлема, так как становятся существенными нелинейные зависимости. В режиме

большого сигнала применяют графо-аналитический метод, основанный на использовании статических характеристик усилительного элемента [3, с 73 – 83].

При усилении сигналов выбор исходной рабочей точки (точки покоя) определяет класс усиления транзистора и каскада усиления: А, В или АВ. Кроме понимания процессов работы транзистора, необходимо уметь задавать режим и строить соответствующий режиму график [3, с 88 – 95; 4, с 121 – 130].

Рассмотрение усилительных каскадов следует провести в следующем порядке: в режиме большого сигнала каскады ОЭ, ОК и ОИ на полевом транзисторе, а затем следует вернуться к режиму малого сигнала и выполнить расчет каскада ОК.

Графо-аналитический метод [3, с 77 – 83] и расчет элементов схемы лучше осваивать на примере конкретной схемы каскада ОЭ с заблокированным (или неблокированным) сопротивлением в цепи эмиттера [3, с 83 – 102; 4, с 91 – 102]. Изучению данного материала следует уделить достаточно времени, так как в задаче 1 контрольной работы требуется выполнить расчет такого усилительного каскада, что будет являться контролем наличия знаний материала раздела 2 программы.

Расчет элементов схем и основных параметров каскадов ОБ, ОЭ и ОК (эмиттерного повторителя) в режиме малого сигнала приведен в [3, с 73 – 76].

Рассмотрение схемы и порядка расчета элементов схемы резистивного каскада ОИ с заблокированным сопротивлением в цепи истока при работе в режиме большого сигнала [5, с 144 – 148; 4, с 104 – 109] необходимо, так как в измерительной аппаратуре применяются и полевые транзисторы.

3.4. Электронные устройства на операционных усилителях

Изучение операционных усилителей и устройств на ОУ следует начать со знакомства (скорей повторения) со схемой УПТ на транзисторах [4, с 137 – 142; 6, с 70 – 72]. УПТ предназначены для усиления сигналов, медленно изменяющихся во времени. Это требует отсутствия реактивных элементов, что позволит выполнить усилитель с АЧХ, у которой $K_U \neq 0$ при $f = 0$. Рассмотрев связи между каскадами в УПТ, необходимо разобраться в таких понятиях, как дрейф нуля и компенсирующее напряжение.

Эффективным средством снижения дрейфа нуля является применение параллельно-балансных (дифференциальных) каскадов [4, с 142 – 150; 6, с 72 – 74]. Важно понять принцип действия дифференциального усилителя, способы подачи входных сигналов и снятия выходного сигнала. Разнополярный сигнал на входе называют парафазным. Однополярный сигнал, действующий на оба входа, называют синфазным. При синфазном сигнале в идеальном случае выходной сигнал должен отсутствовать, однако в реальных условиях появляется так называемая синфазная ошибка, оцениваемая коэффициентом синфазной передачи. Сам ДУ характеризуется коэффициентом ослабления синфазного сигнала. Это основные вопросы, которые необходимо четко понимать после изучения данного пункта.

Операционным усилителем называют усилитель напряжения, имеющий в частотной полосе от 0 до нескольких десятков килогерц коэффициент усиления несколько тысяч и выше [4, с 150 – 156; 6, с 74 – 80; 7, с 18 – 31]. Рассмотрев определение ОУ, следует ознакомиться микросхемами ОУ, их обозначением и подключением, далее внимательно рассмотреть основные характеристики и параметры ОУ. Следует понять, почему возможно введение в практических расчетах понятия идеального ОУ, а также назначение ООС в схемах с ОУ.

В обязательном порядке следует изучить и помнить основные схемы включения операционных усилителей и расчет их основных параметров [4, с 156 – 160; 7, с 32 – 48; 8, с 138 – 151]. К изучаемым основным схемам отнесем следующие: инвертирующий усилитель, неинвертирующий усилитель, усилитель напряжения с емкостной связью, измерительный преобразователь сопротивления, преобразователь тока в напряжение, инвертирующий сумматор, неинвертирующий сумматор, стабилизатор напряжения. С примерами расчетов схем на ОУ следует ознакомиться в [9, с 159 – 176], кроме того, там же содержатся примеры расчетов УПТ и ДУ [9, с 147 – 159].

Компараторы интегрального исполнения и схемы их подключения рассмотрены в [5, с 441 – 445; 8, с 152 – 154; 10, с 360 – 368].

Дифференциальные усилительные каскады на ОУ в измерительных устройствах [7, с 140 – 150] – раздел, который важен при проектировании измерительных каналов, когда необходимо выделить слабый полезный сигнал на фоне больших синфазных помех. Пример расчета измерительного усилителя имеется в [9, пример 6.8, с 172].

3.5. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

Рассмотрение данного раздела следует начать с вопросов преобразования аналоговой непрерывной величины в дискретную путем дискретизации по времени или путем квантования по уровню и восстановления аналоговой величины [11, с 8 – 22; 12, с 71 – 73; 1, с 164 – 165]. При этом необходимо четко представлять себе такие понятия, как: *дискретизация, шаг дискретизации, квантование, квант, а также линейность, нелинейность, немонотонность переходных характеристик ЦАП и АЦП* [12, с 71 – 73; 10, с 422 – 423].

Определив АЦП, как устройство, принимающее входные аналоговые сигналы и генерирующее соответствующие им цифровые сигналы, следует далее раскрыть такое определение, рассмотрев необходимость аналого-цифровых преобразований, основные методы преобразований и классификацию АЦП [11, с 38 – 49].

При рассмотрении основных параметров АЦП следует исходить из ступенчатой линии цифрового выходного сигнала, выделив основные погрешности (полной шкалы, смещения нуля, нелинейность, дифференциальную нелинейность) [11, с 49 – 74].

Перейдя к схемным решениям необходимо рассмотреть параллельные АЦП [8, с 265 – 267]. АЦП с двухтактным интегрированием [8, с 253 – 254].

АЦП последовательного приближения [8, с 254 – 255]. Типы и параметры микросхем АЦП [10, с 432 – 445] и устройства выборки-хранения [10, с 445 – 447].

Изучение ЦАП следует проводить в том же порядке, что и АЦП. Определение. Классификация [11, с 38 – 49]. Основные параметры [11, с 49 – 74]. Параллельные ЦАП. ЦАП с матрицей постоянного импеданса [8, с 235 – 237].

Применение преобразователей в измерительных устройствах рассмотрено, например, [14, с 189 – 231], откуда к экзаменам следует подробно изучить 3-4 примера.

3.6. Цифровые элементы и схемы

В этом разделе рассматриваются элементы и узлы устройств цифровой обработки сигналов.

Прежде всего, следует разобраться и понять, как представляются числа в цифровых устройствах и как выполняются арифметические операции над такими числами [15, с 12 – 21].

Теоретической основой проектирования цифровых устройств является булева алгебра, использование которой позволяет выполнять преобразования логических функций [8, с 81 – 85; 4, с 207 – 216; 15, с 21 – 29]. Целью преобразований, как правило, является минимизация функции. Рассматривая эти вопросы, следует научиться преобразованиям, используя алгебраический метод и карты Карно.

Техническая реализация цифровых устройств осуществляется с использованием цифровых микросхем, реализующих определенные типы логических элементов [8, с 85 – 90; 15, с 31 – 42].

Схемотехническая реализация интегральных логических схем (ТТЛ, ТТЛШ, И²Л, ЭСЛ, КМОПТЛ) [8, с 97 – 130; 15, с 51 – 52, 61 – 63, 63 – 64, 70 – 71, 81 – 90; 13, с 5 – 26, 193 – 204].

Комбинационные схемы [15, с 95 – 103]. При изучении функциональных схем комбинационного типа следует научиться составлять таблицу истинности проектируемого узла или устройства, строить логическую и принципиальную (на микросхемах) схемы и временные диаграммы. Функции, УГО, таблицы истинности и временные диаграммы необходимо четко представлять и уметь их воспроизвести.

Преобразователи кодов [15, с 118 – 119]. Шифраторы и дешифраторы [15, с 119 – 123; 4, с 254 – 256]. Мультиплексоры и демультиплексоры [15, с 122 – 123]. Компараторы. Сумматоры [15, с 123 – 127].

При изучении триггеров, счетчиков и регистров следует уделить внимание их классификации и соответствующим примерам конкретных микросхем. В результате изучения материала должны появиться навыки чтения принципиальных схем приборов, а также выбора необходимой микросхемы,

объединения нескольких микросхем с целью увеличения разрядности или выполнения дополнительных функций.

Триггеры типа RS, D, T и JK [15, с 150 – 156; 8, с 130 – 138; 4, с 231 – 238]. Регистры [15, с 208 – 210; 4, с 247 – 254]. Счетчики [15, с 211 – 219; 4, с 239 – 247].

3.7. Микропроцессорные измерительные устройства

Изучая данный раздел, следует уделить особое внимание определениям, используемым при описании работы микропроцессора, микропроцессорной системы, микроконтроллера [15, с 271 – 277; 4, с 257 – 260]. Например, следующие определения нужно знать и уметь объяснить. *Микропроцессором* называется программно-управляемое устройство для обработки цифровой информации, реализованное в виде одной или нескольких БИС. Микропроцессор применяется совместно с БИС ОЗУ, БИС ПЗУ, БИС УВВ, интерфейсными БИС и др. микросхемами, образуя *микрокомпьютер*. Ода микросхема с функциями микрокомпьютера, но малыми ресурсами, образует однокристалльную микро-ЭВМ или *микроконтроллер*.

Большинство микропроцессорных систем имеют магистрально-модульную структуру [15, с 277 – 286; 4, с 260 – 262], изучение которой позволит понять и при необходимости более сложные системы. В результате изучения необходимо четко представлять функции элементов и основные режимы работы микропроцессорной системы.

Приборы с небольшими вычислительными потребностями, но с большим количеством процедур логического управления реализуются на микроконтроллерах [16, с 85 – 91, 107 – 110, 231 – 243]. Применение контроллеров в приборах [16, с 244 – 249, 256 – 258, 285 – 291].

Схемотехника информационно-измерительных устройств, работающих на основе различных физических принципов, может быть освоена при внимательном изучении раздела "Сбор и обработка данных измерений" в [1, с 338 – 372] и [14, с 189 – 228].

Изучение дисциплины "Схемотехника измерительных устройств" базируется на курсах "Информатика", "Физика", "Общая электротехника", "Электроника и микропроцессорная техника".

Изучение дисциплины "Схемотехника измерительных устройств" закладывает основу для последующего изучения курсов "Проектирование информационно-измерительных систем" и "Компьютерные технологии в приборостроении".

В результате изучения дисциплины "Схемотехника измерительных устройств" будущие инженеры получают знания по элементной аналоговой и цифровой базе, по принципам работы, устройству и параметрам измерительных приборов. Наличие этих знаний должно проявиться при эксплуатации контрольно-измерительных приборов, при изучении их работы и знакомстве с принципиальными электрическими схемами, а также при выборе и

комплектовании необходимого и достаточного набора приборов для решения измерительных задач.

4. ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Основная цель выполнения контрольных работ заключается в развитии практических навыков составления и расчета принципиальных схем типовых электронных узлов средств измерений.

Контрольная работа 1

Контрольная работа должна быть подписана студентом и иметь дату сдачи работы на проверку.

Задача 1. Составить схему эмиттерного повторителя синусоидальных электрических сигналов, рассчитать параметры устройства и основных его элементов. Исходные данные для расчетов представлены в табл. 1.

Указания к выполнению

Решение задачи рекомендуется проводить в следующей последовательности.

1. Составить принципиальную электрическую схему эмиттерного повторителя сигналов. Студенты, у которых последняя цифра шифра – четная, используют транзисторы $n-p-n$ проводимости, а у которых нечетная – транзисторы $p-n-p$ типа.

2. По заданному значению сопротивления нагрузки R_H выбрать резистор эмиттера $R_Э$. При выборе учесть, что неискаженная передача сигнала обеспечивается при выполнении условия $R_H > R_Э$.

3. Выполнить графоаналитический расчет рабочего режима.

4. Рассчитать тепловую мощность, рассеиваемую транзистором. Выделение тепловой энергии транзистором связано с протеканием постоянного тока покоя и переменного тока сигнала. При выполнении расчетов необходимо учитывать, что значение тока покоя определяется значением резистора эмиттера $R_Э$, а переменного тока сигнала – соединенными параллельно резисторами эмиттера $R_Э$ и нагрузки R_H .

Таблица 1

Параметр	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Последняя цифра шифра</i>										
Напряжение питания $U_{пит}$, В	6,3	9	15	15	5	12,6	15	9	12,6	15
Сопротивление нагрузки R_H , кОм	2	4	5	5	3	4	6	3	3	4
<i>Предпоследняя цифра шифра</i>										
Амплитуда входного сигнала $U_{BX \max}$, В	2	3	5	4	1	4	4	2	4	3
<i>Третья от конца цифра шифра</i>										
Нижняя граничная частота сигнала f_H , кГц	0,1	0,5	0,8	1	3	5	6	1	2,5	4

5. Рассчитать параметры резистивного делителя напряжения, формирующего потенциал базы транзистора. Необходимо, чтобы потенциал базы превышал по абсолютному значению потенциал эмиттера на величину падения напряжения на эмиттерном переходе. Приблизительно разность потенциалов между эмиттером и базой кремниевых и германиевых транзисторов принимают равной соответственно 0,6 и 0,4 В.

6. Рассчитать входное сопротивление эмиттерного повторителя. Входное сопротивление схемы представляет собой параллельное соединение резисторов делителя напряжения и входного сопротивления транзистора.

7. Найти емкость входного конденсатора. Конденсатор и входное сопротивление схемы образуют фильтр верхних частот, частота среза которого должна соответствовать требуемой в задании.

8. Найти емкость выходного конденсатора. Выходной конденсатор схемы и сопротивление нагрузки образуют фильтр верхних частот.

Задача 2. Составить схему усилителя высоких частот с емкостной связью и регулируемым коэффициентом усиления на операционном усилителе.

Рассчитать параметры элементов схемы. Исходные данные для расчетов представлены в табл. 2.

Указания к выполнению

Решение задачи рекомендуется проводить в следующей последовательности.

1. В соответствии с заданным значением граничной частоты f_B сигнала

выбрать из справочника операционный усилитель.

Таблица 2

Параметр	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Последняя цифра шифра</i>										
Входное сопротивление R_{BX} , кОм	47	20	100	40	35	200	75	20	50	80
<i>Предпоследняя цифра шифра</i>										
Диапазон регулирования коэффициента усиления	110	525	2080	340	636	520	875	2575	750	280
<i>Третья от конца цифра шифра</i>										
Нижняя граничная частота сигнала f_H , кГц	0,5	2,5	10,0	5,5	0,2	1,5	20,1	3,2	0,8	2,8
Верхняя граничная частота сигнала f_B , МГц	3,1	10,0	10,0	0,5	0,3	4,2	12,0	1,2	3,5	8,2

2. Составить принципиальную электрическую схему усилителя. Студенты, у которых последняя цифра шифра – четная, используют неинвертирующий способ включения операционного усилителя, а при нечетной – составляют инвертирующую схему. Частотная избирательность усилителя достигается включением на его входе фильтра верхних частот. Коэффициент усиления регулируется, как правило, за счет изменения сопротивления резистора обратной связи.

3. По заданному диапазону регулирования коэффициента усиления с использованием формул передаточного отношения усилителя следует выбрать значение резисторов цепи обратной связи и рассчитать диапазон изменения регулирующего резистора.

4. Рассчитать емкость конденсатора фильтра верхних частот.

5. Привести принципиальную электрическую схему усилителя.

Контрольная работа 2

Контрольная работа должна быть подписана студентом и иметь дату сдачи работы на проверку.

Задача 3. Рассчитать нормирующий усилитель на основе ОУ, работающий от аналогового источника сигнала (однополярного) на активную нагрузку. В расчетах учесть дрейф от изменения напряжения смещения, нулевое значение которого устанавливалось при температуре плюс 20 °С.

Обеспечить заданные значения входного и выходного сопротивлений усилителя. Оценить относительную статическую погрешность и дрейф, если температура окружающей среды увеличится до плюс 45 °С.

Исходные данные для расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	Номер варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Последняя цифра шифра</i>										
Коэффициент усиления K_U	10	10	20	30	40	50	60	25	35	45
Нагрузка R_H , кОм	5	0,8	1,0	1,1	0,7	0,5	1,2	1,5	0,9	0,8
<i>Предпоследняя цифра шифра</i>										
Сопротивления $R_{BX \min}$, кОм	20	100	10	80	60	10	50	120	200	5
$R_{ВЫХ \max}$, Ом	100	50	25	120	100	50	40	20	200	100
<i>Третья от конца цифра шифра</i>										
Входной сигнал $U_{ВХ \max}$, В	1,0	0,5	0,5	0,2	0,25	0,1	0,15	0,35	0,2	0,18
Тип ОУ	К140УД1	К140УД6	К140УД7	К140УД8	К140УД9	К140УД1	К140УД6	К140УД7	К140УД8	К140УД9
$R_{ВЫХ \text{ оу}}$, кОм	0,7	1,2	0,5	1,0	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	0,5

Указания к выполнению

Решение задачи рекомендуется проводить в следующей последовательности.

1. Составить принципиальную электрическую схему усилителя.
2. Последовательно выполнить расчет R_{OC} , R_2 .
3. Рассчитать выходной ток ОУ и оценить правильность выбора ОУ по допускаемому рабочему току.
4. Рассчитать выходное сопротивление усилителя.
5. Оценить дрейф выходного сигнала.
6. Провести расчет относительной погрешности.

Задача 4. Преобразовать логическую функцию, представив упрощенный вид функции в базисах Буля, Шеффера и Пирса, а также построить логические схемы упрощенного вида функции в базисах Буля, Шеффера и Пирса.

Функция выбирается в соответствии с последней цифрой шифра.

Указания к выполнению

1. Записать функцию и определить ее вид.
2. Построить таблицу истинности.
3. Функцию упростить, используя аксиомы и законы алгебры логики.
4. Функцию упростить, используя карты Карно.
5. Сравнить результаты п.3 и п.4.
6. Представить упрощенную функцию в базисах Шеффера и Пирса.
7. Построить логические схемы упрощенного вида функции в базисах Буля, Шеффера и Пирса.

Варианты функций

0. $F_0 = X_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 X_3 \vee X_1 \bar{X}_2 X_3$.
1. $F_1 = X_1 X_2 \vee \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee X_1 X_2 X_3 \vee X_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3$.
2. $F_2 = X_1 X_3 \vee X_1 X_2 X_3 \vee \bar{X}_1 X_3 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee X_2 X_3$.
3. $F_3 = ABC \vee \bar{A}BC \vee \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \vee \bar{A}BC$.
4. $F_4 = \bar{A}\bar{B} \cdot \bar{C} \vee \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \vee \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee \bar{A}BC$.
5. $F_5 = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \vee \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee \bar{A}\bar{B} \cdot \bar{C} \vee \bar{A}\bar{B}C \vee \bar{A}BC$.
6. $F_6 = \bar{X}_1 \bar{X}_2 X_3 \vee X_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 \bar{X}_3$.
7. $F_7 = \bar{X}_1 \bar{X}_2 X_3 \vee X_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 X_3$.
8. $F_8 = \bar{X}_1 \bar{X}_2 X_3 \vee X_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 X_3 \vee X_1 \bar{X}_2 X_3$.
9. $F_9 = \bar{X}_1 \bar{X}_2 X_3 \vee X_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 \bar{X}_3 \vee \bar{X}_1 X_2 X_3 \vee$
 $\vee X_1 \bar{X}_2 X_3 \vee X_1 X_2 \bar{X}_3$.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

5.1. Пример расчета усилительного каскада ОК (эмиттерный повторитель)

Целью расчета является определение параметров установочных элементов транзисторного каскада.

Исходные данные. Схема каскада по рис. 1; входной сигнал синусоидальной формы напряжением $U_{BX \max} = 3 \text{ В}$; нижняя граничная частота сигнала $f_H = 150 \text{ Гц}$; сопротивление нагрузки $R_H = 2 \text{ кОм}$; напряжение источника питания $U_{пит} = 20 \text{ В}$; режим работы транзистора не зависит от температуры окружающей среды. При расчете обеспечить работу каскада в классе А на линейных участках входной и выходной вольт-амперных характеристик транзистора.

Алгоритм расчета

1. Режим работы каскада

Усилительный каскад, схема которого приведена на рис. 1, является эмиттерным повторителем.

Каскад реализован по схеме со смещением фиксированным напряжением.

В соответствии с заданием каскад должен работать на линейных участках входной и выходной характеристик транзистора в классе А.

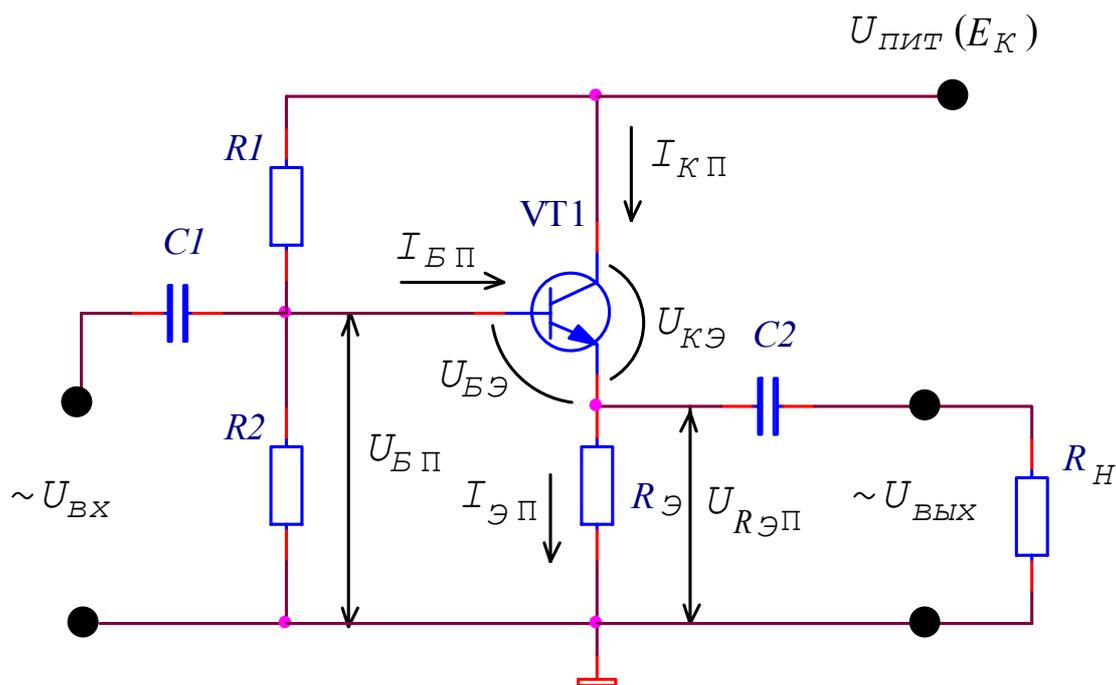


Рис. 1

2. Проверка достаточности напряжения питания схемы

Достаточность напряжения питания схемы ОК определяется эмпирической формулой

$$E_K \geq 1,4 \cdot 2 \cdot U_{ВЫХ \max} .$$

Для данной схемы $K_U = 1$ и $U_{ВХ \max} = U_{ВЫХ \max}$.

Для источника питания справедливым будет соотношение

$$U_{ПИТ} \geq 1,4 \cdot 2 \cdot U_{ВЫХ \max} = 1,4 \cdot 2 \cdot 3 = 8,4 \text{ В} .$$

По условию расчета $U_{ПИТ} = 20 \text{ В}$, что удовлетворяет требованиям проверки.

Если в результате проверки получено $U_{ПИТ} < 1,4 \cdot 2 \cdot U_{ВЫХ \max}$, значит, заданы некорректные условия проектирования и поэтому необходимо увеличить $U_{ПИТ}$ или уменьшить $U_{ВХ \max}$.

Значение напряжения источника питания следует выбирать из ряда ... 5,0; 6,3; 9,0; 12,6; 15,0; 20,0

3. Выбор сопротивления нагрузки в цепи эмиттера

Значение сопротивления нагрузки в цепи эмиттера $-R_Э$ может быть определено из соотношений

$$R_Э < R_Н \text{ и } R_Э = (0,4 \dots 0,8) \cdot R_Н .$$

При заданной внешней нагрузке $R_Н = 2 \text{ кОм}$ принимаем $R_Э = 1,5 \text{ кОм}$.

4. Выбор транзистора

Выбор транзистора осуществляется по следующим параметрам режима эксплуатации:

$U_{KЭ\max}$ – максимально допустимое постоянное напряжение коллектор – эмиттер;

$I_{K\max}$ – максимально допустимый постоянный ток коллектора;

$P_{K\max}$ – максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора;

$h_{21э}$ – статический коэффициент передачи (усиления) тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером (β);

f_{21} – предельная частота коэффициента передачи тока биполярного транзистора: частота, на которой $|h_{21э}|$ уменьшается на 3 дБ, т. е. до 0,7 ($f_{21} = f_{21э} \approx f_{21б} / h_{21э}$; $f_{21б} \approx 1,2 \cdot f_{гр}$).

4.1. Расчет необходимых параметров транзистора

Наибольшее допустимое напряжение между коллектором и эмиттером транзистора равно

$$U_{KЭ\text{доп}} \geq (1,2 \dots 1,5) \cdot E_K ; U_{KЭ\max} \geq U_{KЭ\text{доп}} ; U_{KЭ\max} = 1,2 \cdot 20 \geq 24 \text{ В} .$$

При расчете $I_{K\max}$ примем $I_K \approx I_э$, тогда

$$I_{K\max} = \frac{E_K}{R_H \parallel R_э} = \frac{20}{\frac{2 \cdot 1,5}{2 + 1,5}} = 23,3 \text{ мА} .$$

Принимаем для транзистора $I_{K\max} \geq 25 \text{ мА}$.

Выполнение условия $I_K \approx I_э$ обеспечит транзистор с $h_{21э} \geq 100$.

Наибольшая мощность, рассеиваемая транзистором, работающим в классе А, будет соответствовать режиму покоя:

$$P_{K\text{доп}\Pi} = 0,5 \cdot \frac{E_K^2}{R_э} = 0,5 \cdot \frac{20 \cdot 20}{1,5} = 133,3 \text{ мВт} .$$

Для транзистора $P_{K\max} \geq P_{K\Pi}$, принимаем $P_{K\max} \geq 150 \text{ мВт}$.

Требуемая предельная частота усиления транзистора может быть определена как

$$f_{21} = h_{21э} \cdot f_B .$$

Верхняя граничная частота сигнала f_B обычно на несколько порядков выше нижней f_H , в нашем случае $f_H = 150 \text{ Гц}$.

Приняв $f_B = 100 \text{ кГц}$, получим для транзистора

$$f_{21} \geq h_{21э} \cdot f_B \geq 100 \cdot 100 \cdot 10^3 \geq 10 \text{ МГц} .$$

Таким образом, с учетом исходных данных и полученных результатов, должен быть выбран транзистор, имеющий следующие параметры:

$$U_{KЭ\max} \geq 24 \text{ В} ; I_{K\max} \geq 25 \text{ мА} ; P_{K\max} \geq 150 \text{ мВт} ; h_{21э} \geq 100 ; f_{21} \geq 10 \text{ МГц} .$$

4.2. Выбор транзистора

Приведенным требованиям отвечает, например, транзистор типа

КТ342Б1, имеющий следующие частотные и предельно допустимые параметры режима эксплуатации:

$$U_{KЭ\max} = 25 \text{ В} ; I_{K\max} = 50 \text{ мА} ; P_{K\max} = 250 \text{ мВт} ; h_{21э} = 50 \dots 500 ; \\ f_{21} = 100 \text{ МГц} .$$

Принимаем для использования в каскаде маломощный высокочастотный транзистор типа КТ342Б1. Семейство выходных характеристик транзистора приведено на рис. 2, семейство входных характеристик – на рис. 3.

Значения параметров, входные и выходные характеристики транзисторов приводятся в справочниках по полупроводниковым элементам. Например: *Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам* /Н.Н. Горюнов, А.Ю. Клейман, Н.Н. Комков и др./ Под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – М.: Энергия, 1979.– 744 с; *Транзисторы для аппаратуры широкого применения*: Справ. / К.М. Брежнева, Е.И. Гантман, Т.И. Давыдова и др. /Под ред. Б. Л. Перельмана. – М.: Радио и связь, 1981.– 656 с.

5. Графоаналитический расчет каскада по постоянному току

Расчет каскада по постоянному току выполняется для режима покоя транзистора ($U_{BX} = 0$).

5.1. Линия нагрузки, соответствующая $R_э = 1,5 \text{ кОм}$, строится на семействе выходных характеристик транзистора.

Уравнение линии нагрузки

$$U_{KЭП} = E_K - I_{KП} \cdot R_э .$$

Линию нагрузки на семействе выходных характеристик (рис. 2) строим по двум точкам:

$$\text{точка } C - U_{KЭ} = 0, I_K = E_K / R_э = 20 / 1,5 = 13,3 \text{ мА} ;$$

$$\text{точка } D - I_K = 0, U_{KЭ} = E_K = 20 \text{ В} .$$

Полученная прямая CD представляет собой выходную динамическую характеристику по постоянному току.

5.2. Выделим линейный участок, общий для семейств входных и выходных характеристик.

Учитывая форму входной характеристики (см. рис. 3), принимаем, что она линейна при $I_B \geq 0,4 \text{ мА}$ на участке выше точки K .

Линейный участок EF динамической характеристики соответствует

$$0 < I_B \leq 1,4 \text{ мА} .$$

Таким образом, обе характеристики линейны в диапазоне

$$0,4 \text{ мА} \leq I_B \leq 1,4 \text{ мА} ,$$

что соответствует участку EH на рис. 2.

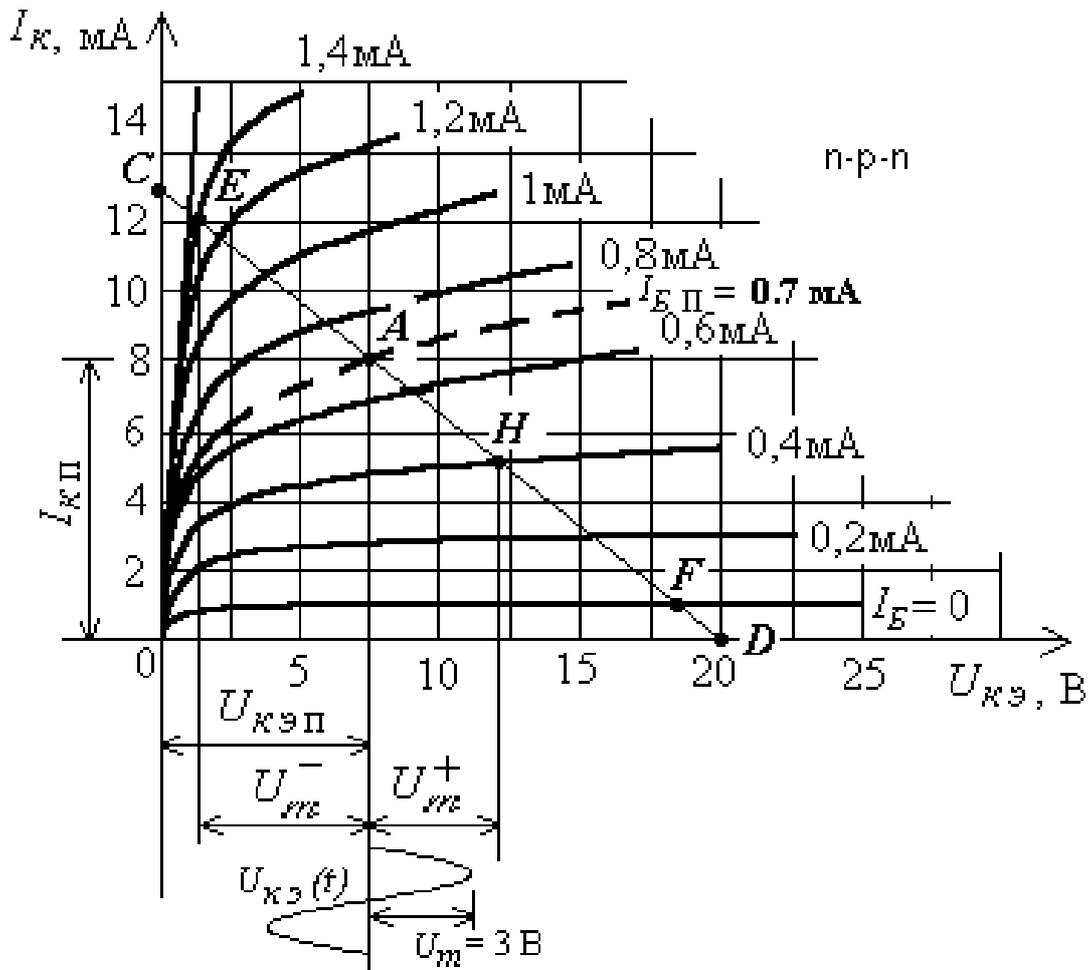


Рис. 2

5.3. Выбор точки покоя

Положение рабочей точки покоя A выбираем посередине линейного участка EH (см. рис. 2).

Положение точки покоя A определяет значения параметров режима покоя транзистора:

$$I_{БП} = 0,7 \text{ мА}; \quad I_{КП} = 8 \text{ мА}; \quad U_{КЭП} = 7,5 \text{ В}.$$

Необходимое для дальнейших расчетов значение напряжения $U_{БЭП}$ находится из рис. 3. Так как $U_{КЭП} > 5 \text{ В}$, то при построении точки A_1 используем кривую, соответствующую $U_{КЭ} \geq 5 \text{ В}$. Значение $U_{БЭП}$ определяет абсцисса точки A_1 :

$$U_{БЭП} = 0,78 \text{ В}.$$

Если окажется $U_{КЭП} < 5 \text{ В}$, то на рисунке с входными характеристиками между кривыми $U_{КЭ} = 0$ и $U_{КЭ} \geq 5 \text{ В}$ строится соответствующая кривая и на ней формируется точка A_1 .

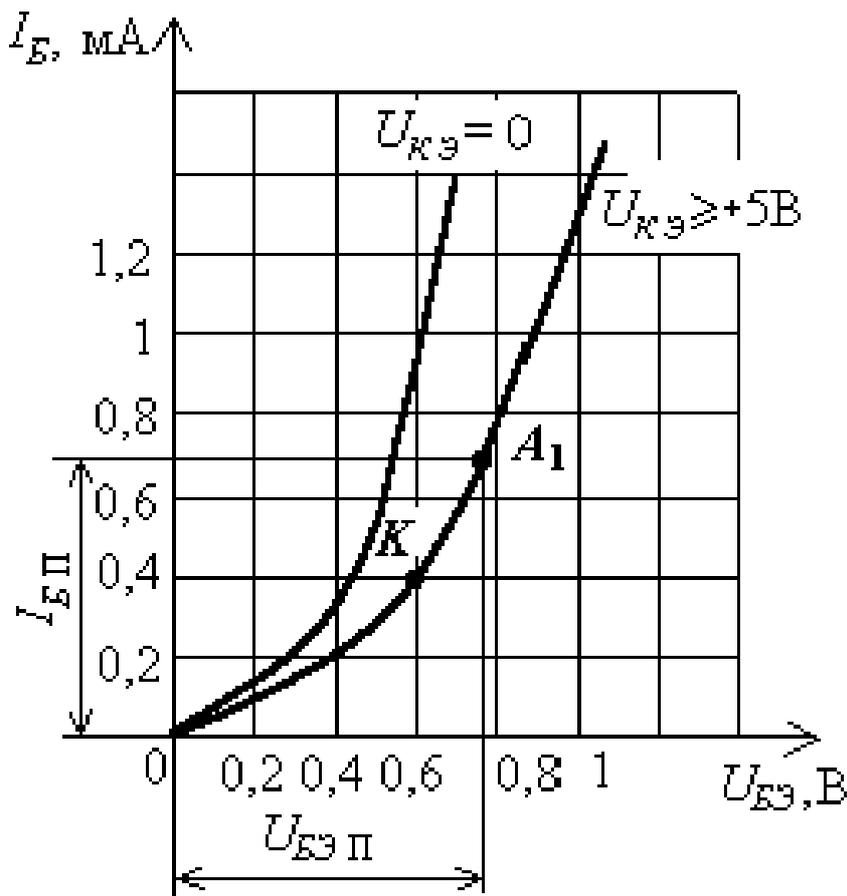


Рис. 3

Выполним *проверку* правильности выбора точки покоя.

Если точка покоя *A* выбрана верно, то при работе на линейном участке динамической характеристики обеспечивается формирование переменной составляющей выходного сигнала без срезов. На рис. 2 приведена форма напряжения $U_{KЭ}(t)$ с амплитудой 3 В, допустимые значения амплитуд при этом равны $U_m^+ = 6.25$ В $U_m^- = 4.65$ В, что с большим запасом обеспечит формирование выходного сигнала амплитудой 3 В.

Если это условие не выполняется, то необходимо найти другое положение точки *A*, или увеличить линейный участок, или взять другой транзистор.

Проверку транзистора по мощности проведем исходя из режима работы каскада в классе А. В данном случае максимальная мощность, выделяемая на транзисторе в режиме покоя

$$P_{КП} = U_{КЭП} \cdot I_{КП} = 7,5 \cdot 8 = 60 \text{ мВт} < P_{К \text{ max}} = 250 \text{ мВт},$$

т. е. режим работы транзистора КТ 342Б1 допустим.

6. Расчет параметров элементов схемы.

Исходными являются напряжения на элементах схемы (рис. 2):

$$U_{RЭП} = E_K - U_{КЭП} = 20 - 7,5 = 12,5 \text{ В};$$

$$U_{BЭП} = 0,78 \text{ В};$$

$$U_{BП} = U_{BЭП} + U_{RЭП} = 0,78 + 12,5 = 13,28 \text{ В};$$

$$U_{R2} = U_{BП} = 13,28 \text{ В};$$

$$U_{R1} = E_K - U_{R2} = 20 - 13,28 = 6,72 \text{ В}.$$

6.1. Расчет сопротивлений резисторов R_1 и R_2

Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель, обеспечивающий необходимый ток базы и напряжение на базе в режиме покоя.

Исходные уравнения для расчета

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_{R1}}{U_{R2}}; \quad h_{21Э} \cdot R_{Э} \gg R_1 \parallel R_2 .$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_{R1}}{U_{R2}} = \frac{6,72}{13,28} = 0,51, \text{ следовательно } R_1 = 0,51 \cdot R_2 .$$

Для выполнения условия $h_{21Э} \cdot R_{Э} \gg R_1 \parallel R_2$ при $h_{21Э} \cdot R_{Э} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ кОм}$ принимаем значение $R_1 \parallel R_2 = 10 \text{ кОм}$.

Таким образом, имеем два уравнения:

$$R_1 = 0,51 \cdot R_2 \text{ и } \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 10,$$

решая которые методом подстановки получим искомые значения сопротивлений резисторов:

$$R_1 = 15,1 \text{ кОм}, \quad R_2 = 29,6 \text{ кОм} .$$

6.2. Определение величин емкостей конденсаторов

На входе и выходе эмиттерного повторителя имеем фильтры верхних частот.

Входной фильтр образуется разделительным конденсатором C_1 и входным сопротивлением каскада, равным при $h_{21Э} \geq 100$:

$$R_{BX} \approx R_1 \parallel R_2 \parallel h_{21Э} \cdot (R_{Э} \parallel R_H) = \\ = 15 \parallel 30 \parallel 100 \cdot (1,5 \parallel 2) = 10 \parallel 100 \cdot 0,86 = 8,96 \approx 9 \text{ кОм} .$$

Емкость конденсатора C_1

$$C_1 = (2\pi \cdot f_H \cdot R_{BX})^{-1} = (2\pi \cdot 150 \cdot 9 \cdot 10^3)^{-1} = 0,12 \text{ мкФ} .$$

Выходной фильтр образуется разделительным конденсатором C_2 и сопротивлением нагрузки $R_H = 2 \text{ кОм}$.

Емкость конденсатора C_2

$$C_1 = (2\pi \cdot f_H \cdot R_H)^{-1} = (2\pi \cdot 150 \cdot 2 \cdot 10^3)^{-1} = 0,53 \text{ мкФ} .$$

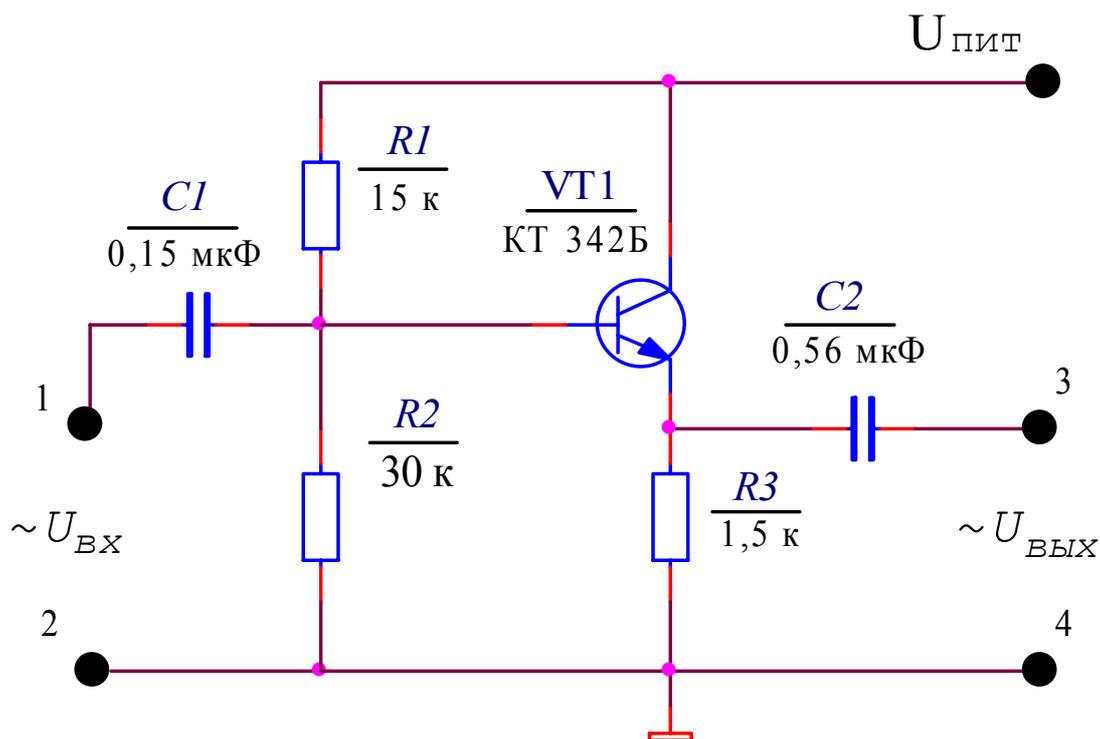


Рис. 4

7. Принципиальная электрическая схема эмиттерного повторителя приведена на рис. 4.

На схеме резисторы имеют следующие номинальные сопротивления согласно ряду E24 номинальных сопротивлений резисторов

$$R_1 = 15 \text{ кОм}, R_2 = 30 \text{ кОм}, R_3 = 1,5 \text{ кОм}.$$

Для установки можно использовать резисторы типа МЛТ:

$$R_1 \text{ МЛТ-0,125 - } 15 \text{ кОм } \pm 5 \%,$$

$$R_2 \text{ МЛТ-0,125 - } 30 \text{ кОм } \pm 5 \%,$$

$$R_3 \text{ МЛТ-0,25 - } 1,5 \text{ кОм } \pm 10 \%.$$

Принимаем C_1 и C_2 с запасом и согласно ряду E12 номинальных значений емкостей получаем $C_1 = 0,15 \text{ мкФ}$, $C_2 = 0,56 \text{ мкФ}$.

Для установки можно использовать конденсатор типа КМ-6:

$$C_1 \text{ КМ-6 - М47 - } 0,15 \text{ мкФ } \pm 10 \%,$$

$$C_2 \text{ КМ-6 - М47 - } 0,56 \text{ мкФ } \pm 10 \%.$$

5.2. Расчет усилителя высоких частот с емкостной связью на операционном усилителе

Для схемы усилителя с неинвертирующим включением ОУ (см. рис. 5) следует использовать такие соотношения:

$$R_{ex} = R_3; \quad R_1 = R_3; \quad K_U = 1 + \frac{R_{oc}}{R_1}; \quad f_H = \frac{1}{2\pi R_3 C}.$$

Для схемы усилителя с инвертирующим включением ОУ (см. рис. 6) следует использовать такие соотношения:

$$R_{ex} = R_1; \quad K_U = -\frac{R_{oc}}{R_1}; \quad f_H = \frac{1}{2\pi R_1 C}.$$

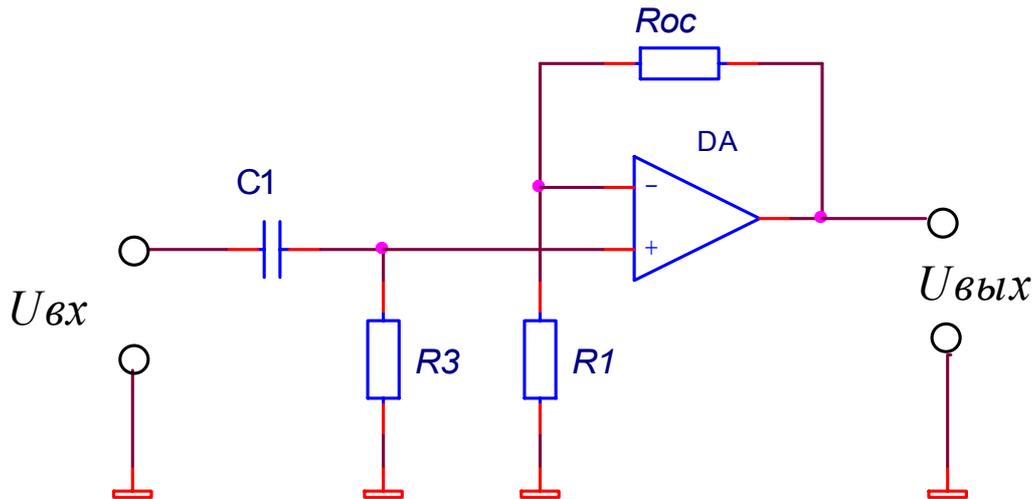


Рис. 5

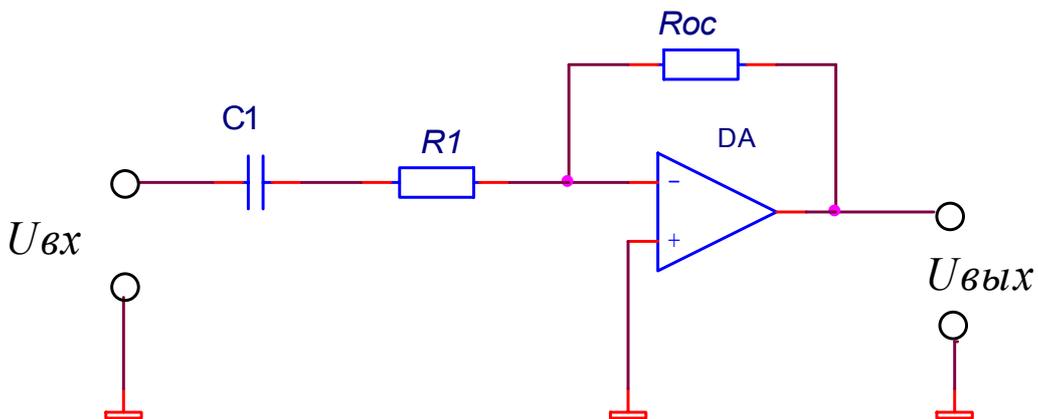


Рис. 6

5.3. Пример расчета нормирующего усилителя

Задача. Рассчитать нормирующий усилитель на основе ОУ типа К544УД1А с коэффициентом усиления $K_U = 10$, работающий на нагрузку $R_H = 2 \text{ кОм}$ от аналогового источника сигнала (однополярного) с

$U_{BX \max} = 0,5 \text{ В}$. В расчетах учесть дрейф от изменения напряжения смещения, нулевое значение которого устанавливалось при температуре 20°С .

Обеспечить входное сопротивление усилителя R_{BX} не менее 10 кОм , выходное сопротивление $R_{ВЫХ}$ не более 20 Ом .

Оценить относительную статическую погрешность и дрейф, если температура окружающей среды увеличится до 40°С .

Решение

1. Выбор схемы усилителя.

В данном случае можно использовать инвертирующее включение ОУ, так как требуемое входное сопротивление усилителя не велико. Расчетная схема усилителя приведена на рис. 7.

Если потребуется $R_{BX} > 50 \text{ кОм}$, то следует использовать неинвертирующее включение ОУ.

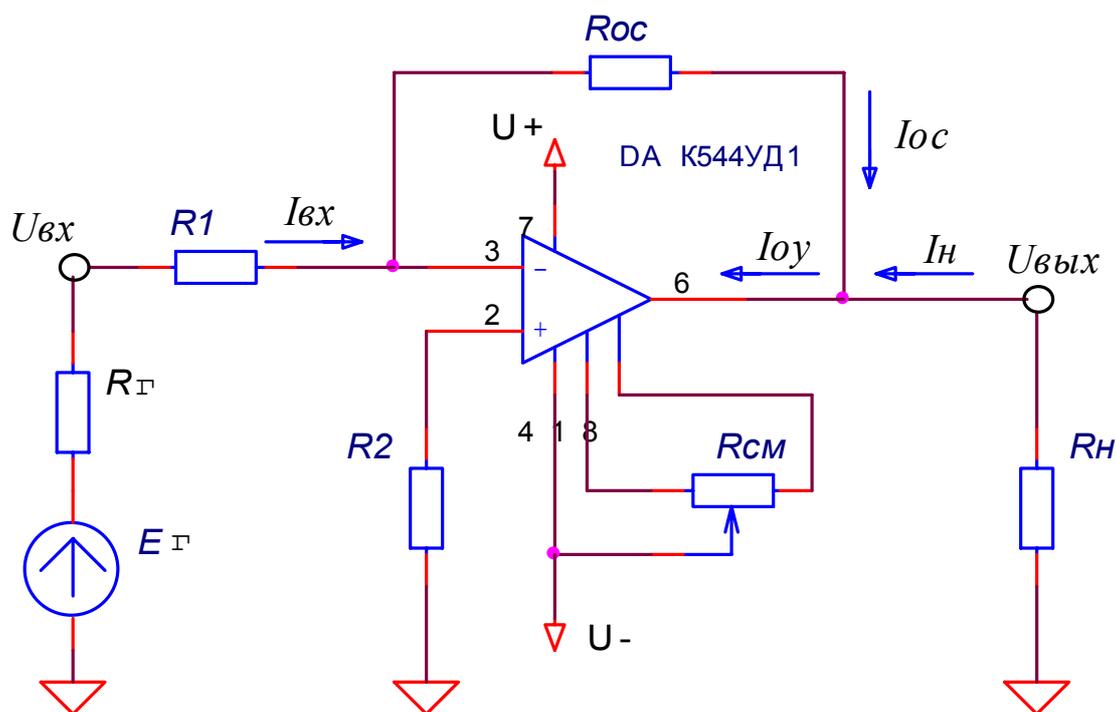


Рис. 7

Схема усилителя (рис. 7) содержит резисторы ООС R_1, R_{OC} , нагрузку R_H , выравнивающий резистор R_2 , и резистор R_{CM} , обеспечивающий коррективку U_{CM} ОУ. Источник сигнала представлен источником ЭДС E_G с внутренним сопротивлением R_G .

2. Расчет цепи ООС

Величина входного сопротивления определяется резистором R_1 . С учетом допуска резистора примем в расчете $R_{BX} = R_1 = 12 \text{ кОм}$, т. е. несколько больше необходимых 10 кОм , тогда

$$R_{OC} = K_{UИ} \cdot (R_1 + R_{Г}) = 10 \cdot (12 + 1) = 130 \text{ кОм}.$$

3. Расчет R_2

Для уменьшения токовой погрешности выбираем величину резистора из выражения

$$R_2 = (R_1 + R_{Г}) \parallel R_{OC} = \frac{13 \cdot 130}{13 + 130} = 11,82 \approx 12 \text{ кОм}.$$

4. Расчет выходного тока ОУ

Выходной ток ОУ равен сумме тока нагрузки и тока ООС.

$$I_{ВЫХ\ оу} = I_H + I_{OC} = \frac{U_{ВЫХ}}{R_H} + \frac{U_{ВЫХ}}{R_{OC}}.$$

$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} \cdot K_{UИ} = 0,5 \cdot 10 = 5,00 \text{ В}.$$

$$I_{ВЫХ\ оу} = \frac{5}{2} + \frac{5}{130} = 2,54 \text{ мА}.$$

ОУ типа К140УД1А допускает максимальный рабочий ток 20 мА , что обеспечит нормальную работу усилителя.

Параметры ОУ, необходимые для расчетов, приводятся в справочниках, например, *Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы*: Справ./С. В. Якубовский, Л. И. Ниссельсон, В. И. Кулешова и др./ Под ред. С. В. Якубовского. – М.: Радио и связь, 1990. – 496.

5. Расчет выходного сопротивления усилителя

Выходное сопротивление определим из выражения

$$R_{ВЫХ} = \frac{R_{ВЫХ\ оу} \cdot K_{UИ}}{K_{U\ оу}} = \frac{2000 \cdot 10}{50 \cdot 10^3} = 0,4 \text{ Ом}.$$

Полученное значение много меньше требуемой величины.

$R_{ВЫХ\ оу}$ и $K_{U\ оу}$ – справочные данные.

6. Оценка дрейфа выходного сигнала

Изменение напряжения на выходе усилителя в диапазоне температур $\Delta T = 40 - 20 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ будет равно

$$\Delta U_{ВЫХ\ ош} = \Delta U_{СМ} \cdot \Delta T \cdot K_{UИ},$$

где $\Delta U_{СМ}$ – дрейф напряжения смещения ($\text{мкВ}/^\circ\text{C}$), справочное данное;

$K_{UИ}$ – коэффициент усиления неинвертирующего усилителя, так как сигнал U_{CM} действует как сигнал, включенный последовательно с неинвертирующим входом.

Таким образом, дрейф выходного сигнала равен
 $\Delta U_{ВЫХ\ ош} = \Delta U_{CM} \cdot \Delta T \cdot (1 + K_{UИ}) = 20 \cdot 20 \cdot 11 = 4,4 \text{ мВ}.$

7. Расчет относительной погрешности

Относительную статическую погрешность, вызванную дрейфом U_{CM} , определим из выражения

$$\delta = \frac{\Delta U_{ВЫХ\ ош}}{K_{U,И} \cdot U_{ВХ\ max}} \cdot 100 = \frac{0,0044}{10 \cdot 0,5} \cdot 100 = 0,09 \%$$

Проведенный расчет показывает, что погрешность мало зависит от дрейфа U_{CM} .

5.4. Преобразования логических функций

Преобразования логических функций выполняются при разработке схем цифровых устройств с целью обеспечения их последующей реализации меньшим количеством физических элементов.

Преобразования сводятся к минимизации логической функции или представлению ее некоторой операторной формы.

Теоретической основой проектирования цифровых устройств является *булева алгебра*.

1. Основные аксиомы и законы булевой алгебры

Аксиомы (тождества):

$$\begin{array}{ll} 1 \vee A = 1, & 1 \cdot A = A, \\ 0 \vee A = A, & 0 \cdot A = 0, \\ A \vee A = A, & A \cdot A = A, \\ A \vee \bar{A} = 1, & A \cdot \bar{A} = 0. \end{array}$$

Переместительные (коммутативные) законы:

$$A \vee B = B \vee A, \quad AB = BA.$$

Сочетательные (ассоциативные) законы:

$$A \vee B \vee C = A \vee (B \vee C), \quad ABC = A(BC).$$

Распределительные (дистрибутивные) законы:

$$A(B \vee C) = (AB) \vee (AC),$$

$$A \vee (BC) = (A \vee B)(A \vee C).$$

Законы инверсии (де Моргана):

$$\overline{A \vee B} = \overline{A} \cdot \overline{B}, \quad \overline{A \cdot B} = \overline{A} \vee \overline{B}.$$

Законы поглощения:

$$A \vee AB = A, \quad A(B \vee A) = A.$$

Законы склеивания:

$$AB \vee A\overline{B} = A, \quad (A \vee B)(A \vee \overline{B}) = A.$$

2. Логические функции двух переменных

Используя сочетательный закон, любую логическую функцию многих переменных можно представить в виде комбинаций функций двух переменных, полный набор которых содержит 16 функций.

Каждая из этих 16 функций обозначает одну из возможных логических операций над двумя переменными (A, B) и имеет собственное название и условное обозначение. Например, конъюнкция (F_1), исключающее ИЛИ (F_6), операция Пирса ИЛИ – НЕ (F_8), равнозначность (F_9), импликация (F_{11}), инверсия (F_{12}), операция Шеффера И – НЕ (F_{14}) и др.

3. Формы представления логических функций

3.1. Словесное представление для функции F_6 – неравнозначность:

$$“ F_6 = 1 \text{ при } A \neq B \text{ и } F_6 = 0 \text{ при } A = B ”.$$

3.2. Табличная форма (таблица истинности):

A	B	F_6	F_7
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	1

3.3. Алгебраическая форма:

$$F_6 = \bar{A}B \vee A\bar{B},$$

$$F_7 = A \vee B.$$

3.4. Графическая форма – карты Карно:

$F_6 = \bar{A}B \vee A\bar{B}$	
\bar{A}	A
\bar{B}	1
B	1

$F_7 = A \vee B$	
\bar{A}	A
\bar{B}	1
B	1

4. Взаимные преобразования форм представления логических функций

4.1. Переход от табличной формы записи функции к алгебраическому выражению представляет процесс записи функции в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ) или совершенной конъюнктивной нормальной формы (СКНФ).

На практике для записи функции в виде СДНФ может быть использована сокращенная форма

$$F = \sum(m_1, \dots, m_k),$$

где (m_1, \dots, m_k) – номера минтермов, соответствующих значениям $F = 1$.

Минтерм – конъюнкция всех переменных, которые входят в прямом виде, если значение данной переменной в наборе равно единице, либо в инверсном виде, если значение данной переменной в наборе равно нулю.

Для записи функции в виде СКНФ может быть использована форма

$$F = \Pi(M_m, \dots, M_n),$$

где (M_m, \dots, M_n) – номера макстермов, соответствующих значениям $F = 0$.

Макстерм – дизъюнкция всех переменных, которые входят в прямом виде, если значение данной переменной в наборе равно нулю, либо в инверсном виде, если значение данной переменной в наборе равно единице.

Для рассмотренных в 1.3 функций F_6 , F_7 получим следующий вид СДНФ и СКНФ:

$$F_6 = \bar{A}B \vee A\bar{B},$$

$$F_6 = (A \vee B)(\bar{A} \vee \bar{B}),$$

$$F_7 = \bar{A}B \vee A\bar{B} \vee AB,$$

$$F_7 = A \vee B.$$

4.2. *Переход от алгебраического к табличному представлению функции* выполняется путем последовательной подстановки в данное алгебраическое выражение всех возможных наборов переменных, определения значений функции для каждого набора и заполнения таблицы истинности.

Пусть задано булево выражение $F = \overline{A}B\overline{C} \vee A\overline{B}C$. Это выражение представлено *совершенной дизъюнктивной нормальной формой*, поэтому делаем вывод, что только две комбинации входов A, B, C дают на выходе логическую единицу, а для остальных наборов $F = 0$. Таблица истинности для данной функции приведена на рис. 8.

Следует быть внимательным при построении таблиц истинности. Например, для булевого выражения $F = \overline{A} \cdot \overline{C} \vee ABC$, представленного *дизъюнктивной нормальной формой*, существуют не два, а три набора, при которых $F = 1$.

Таблица истинности для данной функции приведена на рис. 9.

Выражение $F = (A \vee B \vee C)(\overline{A} \vee \overline{B} \vee \overline{C})$ представлено *совершенной конъюнктивной нормальной формой*, поэтому делаем вывод, что только две комбинации входов A, B, C дают на выходе логический ноль, а для остальных наборов $F = 1$. Таблица истинности для данной функции приведена на рис. 10.

4.3. Логические схемы рассмотренных булевых выражений приведены на рис. 8, 9, 10.

$$F = \overline{A}B\overline{C} \vee A\overline{B}C$$

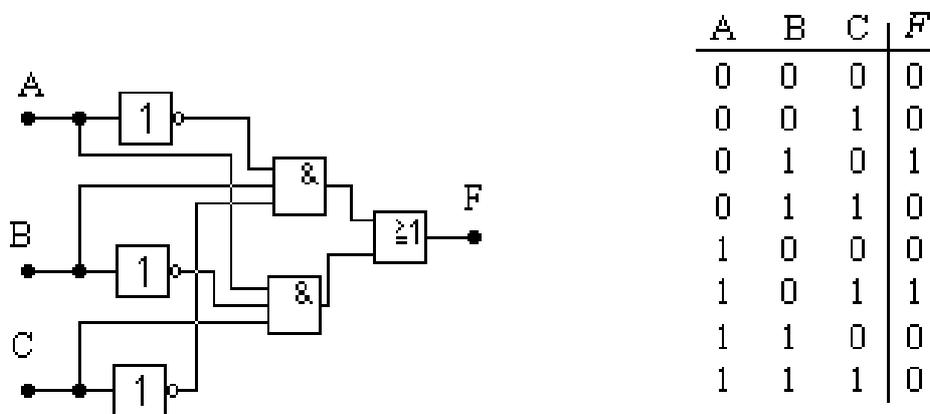


Рис. 8

5. Преобразования логических функций

Сложность логической функции определяется количеством переменных, входящих в ее алгебраическое выражение в прямом или инверсном виде. Основной задачей преобразования логических функций является задача понижения их сложности. *Минимальным* называется такое эквивалентное представление функции, которое имеет минимальную сложность, а процедура его получения – *минимизацией*.

5.1. Представление функции в виде СДНФ в большинстве случаев не является минимальным. Для понижения сложности используют операции *склеивания* $AB \vee A\bar{B} = A$ и *поглощения* $A \vee AB = A$. В результате получится сокращенная ДНФ, которая является дизъюнкцией конъюнктивных членов, которые могут не содержать всех переменных, т. е. не быть минтермами. Эти конъюнктивные члены называются *импликантами*.

Пример упрощения функции:

$$\begin{aligned}
 F &= \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee \bar{A}B\bar{C} \vee \bar{A}BC \vee A\bar{B}\bar{C} \vee ABC = \\
 &= \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee \bar{A}B(\bar{C} \vee C) \vee AB(\bar{C} \vee C) = \\
 &= \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee \bar{A}B \vee AB = \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee B(\bar{A} \vee A) = \\
 &= \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee B = B \vee \bar{A} \cdot \bar{B}C = B \vee \bar{B}(\bar{A}C) = \\
 &= (B \vee \bar{B})(B \vee \bar{A}C) = B \vee \bar{A}C.
 \end{aligned}$$

В результате преобразований сложность функции уменьшена с 15 до 3. Полученная ДНФ содержит всего две импликанты B и $\bar{A}C$.

$$F = \bar{A} \cdot \bar{C} \vee ABC$$

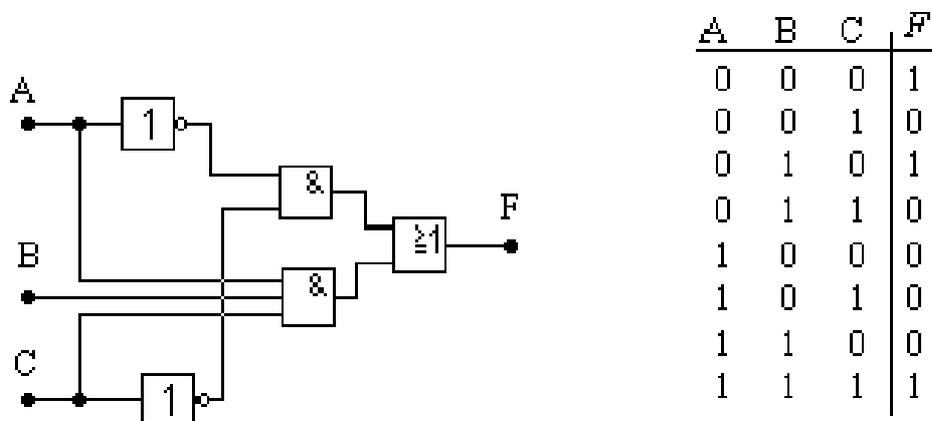


Рис. 9

5.2. При небольшом числе переменных ($n \leq 6$), как правило, используют *карты Карно*. На рис. 11 приведены карты Карно логических функций двух, трех и четырех переменных. В клетках карт стоят минтермы входных наборов.

Процесс минимизации с использованием карт Карно включает следующие действия:

1. Построить карту.
2. Поставить единицы в клетках, минтермы которых входят в данную функцию. Остальные клетки оставить свободными.

$$F = (A \vee B \vee C)(\bar{A} \vee \bar{B} \vee \bar{C})$$

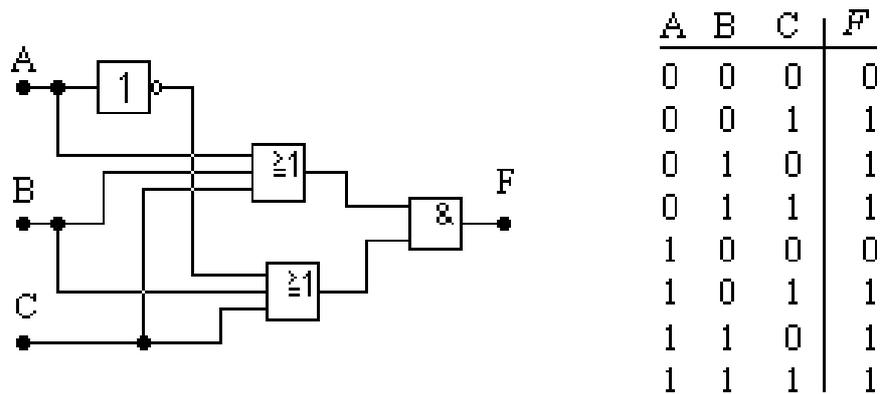


Рис. 10

3. Выделить контуры.

Охватывать контуром можно только соседние клетки. Охватывающий контур должен быть только либо прямоугольной, либо квадратной формы. Возможна частичная накладка одного контура на другой. Верхние и нижние крайние клетки, а также левые и правые крайние клетки являются продолжением друг друга и могут быть объединены одним контуром. Каждый охватывающий контур должен включать лишь четное число квадратов. Количество охватывающих контуров должно быть минимально.

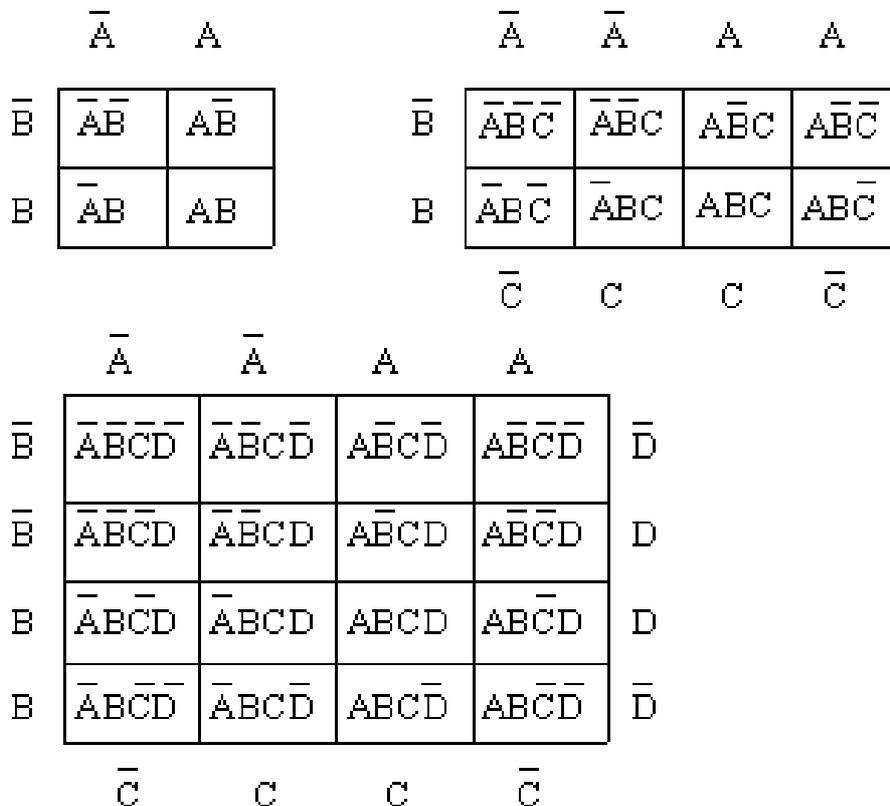


Рис. 11

4. Составить выражения для каждого контура.

Полученные импликанты не будут содержать тех аргументов, границы которых пересекает площадь контура.

5. Составить выражения для неохваченных контурами клеток.

В этом случае в выражения войдут соответствующие минтермы.

6. Записать общую минимальную форму функции, соединяя полученные выражения знаком дизъюнкции.

Пример 1. Выполним преобразования с использованием карт Карно для той же функции, что и в п.1.5.1:

$$F = \bar{A} \cdot \bar{B}C \vee \bar{A}B\bar{C} \vee \bar{A}BC \vee A\bar{B}\bar{C} \vee ABC.$$

Карта Карно данной функции приведена на рис. 12, а на рис. 13 показаны два выделенных контура.

Для первого контура выражение будет содержать только одну импликанту B , так как площадь контура пересекает границы аргументов A, \bar{A} и C, \bar{C} .

Для второго контура выражение будет содержать импликанту $\bar{A}C$.

Объединяя импликанты, получим минимальную ДНФ функции $F = B \vee \bar{A}C$.

	\bar{A}	\bar{A}	A	A
\bar{B}		1		
B	1	1	1	1
	\bar{C}	C	C	\bar{C}

Рис. 12

	\bar{A}	\bar{A}	A	A
\bar{B}		(1)		
B	(1)	(1)	1	(1)
	\bar{C}	C	C	\bar{C}

Рис. 13

Пример 2. Карта Карно функции $F = \overline{A}BC \vee A\overline{B}C \vee ABC \vee \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}$ приведена на рис. 14.

Объединяя импликанты и минтерм, получим минимальную ДНФ функции $F = \overline{A}BC \vee B\overline{C} \vee \overline{A} \cdot \overline{C}$.

	\overline{A}	\overline{A}	A	A
\overline{B}	1		1	
B	1			1
	\overline{C}	C	C	\overline{C}

Рис. 14

6. Функционально полные системы двух аргументов

Набор элементарных логических функций, через которые может быть выражена любая логическая функция, представляет собой функционально полную систему и называется *базисом*.

Выделяют *базис Буля*, *базис Шеффера*, *базис Пирса*.

Базис Буля состоит из элементарных логических функций И, ИЛИ, НЕ. Базис Шеффера состоит из элементарной логической функции И – НЕ. Базис Пирса состоит из элементарной логической функции ИЛИ – НЕ.

Преобразования в базисе Буля нами рассмотрены достаточно подробно. При работе с микросхемами необходимо уметь получать логические функции из таблиц истинности в базисах Шеффера или Пирса, так как большинство интегральных схем построены на основе функций Шеффера или Пирса.

6.1. Нахождение *совершенной нормальной формы* функции в базисах Шеффера или Пирса состоит в том, что булеву СДНФ или СКНФ функции преобразуют в новый базис. При этом используют следующие выражения:

$$\begin{array}{ll}
 AB = \overline{A/B}, & AB = \overline{A} \downarrow \overline{B}, \\
 A \vee B = \overline{A/B}, & A \vee B = \overline{A} \downarrow \overline{B}, \\
 A/B = \overline{AB}, & A \downarrow B = \overline{A} \cdot \overline{B}, \\
 A/B = \overline{A} \vee \overline{B}, & A \downarrow B = \overline{A \vee B}, \\
 \overline{A} = A/A, & \overline{A} = A \downarrow A, \\
 A \vee B = (A/A)/(B/B), & AB = (A \downarrow A) \downarrow (B \downarrow B), \\
 \overline{A/B} = \overline{A} \downarrow \overline{B}, & \overline{A \downarrow B} = \overline{A/B}, \\
 A/A = \overline{A}, & A \downarrow A = \overline{A}, \\
 A/\overline{A} = 1, & A \downarrow \overline{A} = 0,
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 A/1 = \bar{A}, & A \downarrow 1 = 0, \\
 A/0 = 1, & A \downarrow 0 = \bar{A}, \\
 A/B = B/A, & A \downarrow B = B \downarrow A.
 \end{array}$$

Работа с функциями непосредственно в базисах Шеффера и Пирса затруднена, так как в этом случае не действует сочетательный закон. Это приводит к тому, что раскрытие скобок и вынос за скобки выполняются по специфическим правилам.

Пример 3. Представим функцию $F = B \vee \bar{A}C$ из примера 1 в базисе Шеффера

$$\begin{aligned}
 F &= B \vee \bar{A}C = B \vee (\bar{A}C) = B \vee (\overline{\bar{A}/C}) = \bar{B}/(\bar{A}/C) = \\
 &= (B/B)/((A/A)/C).
 \end{aligned}$$

Логическая схема функции в базисе Шеффера приведена на рис. 15.

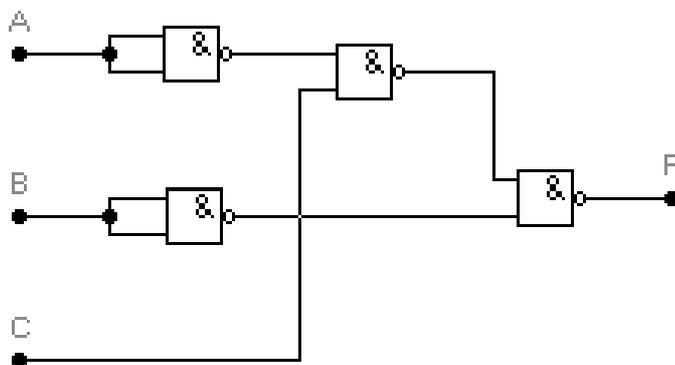


Рис. 15

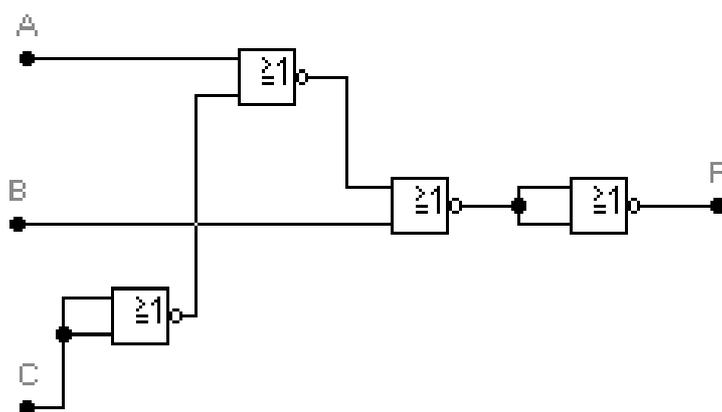


Рис. 16

Пример 4. Представим функцию $F = B \vee \bar{A}C$ из примера 1 в базисе Пирса

$$\begin{aligned}
F &= B \vee \bar{A}C = B \vee (\bar{A}C) = B \vee (A \downarrow \bar{C}) = \\
&= \overline{B \downarrow (A \downarrow \bar{C})} = (B \downarrow (A \downarrow \bar{C})) \downarrow (B \downarrow (A \downarrow \bar{C})) = \\
&= (B \downarrow (A \downarrow (C \downarrow C))) \downarrow (B \downarrow (A \downarrow (C \downarrow C))).
\end{aligned}$$

Логическая схема функции в базисе Пирса приведена на рис. 16.

6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Биполярные транзисторы. *Виды. Параметры. Схемы включения. Характеристики.*
2. Полевые транзисторы. *Виды. Параметры. Схемы включения. Характеристики.*
3. Составные транзисторы. *Схемы включения. Параметры. Применение.*
4. Оптоэлектронные приборы *Определение. Характеристики. Схемы включения. Применение.*
5. Усилители. *Определение. Классификация. Основные параметры. Характеристики преобразования (АЧХ, ФЧХ, АФХ, АмнХ, ПерехХ).*
6. Усилитель напряжения на биполярном транзисторе. *Схема с общим эмиттером. Электрическая схема. Назначение элементов. Режим малого сигнала. Параметры. Применение.*
7. Усилитель напряжения на биполярном транзисторе. *Схема с общим коллектором. Электрическая схема. Назначение элементов. Режим большого сигнала. Параметры. Применение.*
8. Усилитель напряжения на полевом транзисторе с р-п-переходом. *Схема с общим истоком. Электрическая схема. Назначение элементов. Режим малого сигнала. Параметры. Применение.*
9. Усилитель напряжения на полевом транзисторе с изолированным затвором. *Схема с общим истоком. Электрическая схема. Назначение элементов. Режим большого сигнала. Параметры.*
10. Усилители постоянного тока. *Определение. Схема транзисторного УПТ. Работа. Параметры. Недостатки.*
11. Дифференциальные усилители. *Определение. Схема интегрального ДУ. Назначение элементов. Параметры. Подключение сигналов.*
12. Электронные генераторы гармонических колебаний. *Структура. Условия самовозбуждения. Схема RC-автогенератора. Анализ работы схемы.*
13. Операционные усилители. *Определение. Подключение. Характеристики. Идеальный ОУ.*
14. Операционные усилители. *Определение. Инвертирующий усилитель. Схема. Пример нормирующего усилителя.*
15. Операционные усилители. *Определение. Неинвертирующий усилитель. Пример нормирующего усилителя.*
16. Операционные усилители. *Определение. Усилитель напряжения с емкостной связью. Схема. Применение. АЧХ усилителя.*
17. Операционные усилители. *Определение. Вольтметр постоянного тока на ОУ. Схема. Тип. Шкала. Достоинства.*
18. Операционные усилители. *Определение. Вольтметр переменного тока на ОУ. Схема. Тип. Шкала. Достоинства.*
19. АЦП. Параллельные АЦП. *Схема. Работа. Параметры. Пример микросхемы.*

20. АЦП. АЦП последовательного приближения. *Схема. Работа. Параметры. Пример микросхемы.*
21. ЦАП. Последовательные ЦАП. *Схема. Работа. Параметры. Пример микросхемы.*
22. ЦАП. Параллельные ЦАП с матрицей постоянного импеданса. *Схема. Работа. Параметры. Пример микросхемы.*
23. Сигнал. *Определение. Виды сигналов. Дискретизация аналоговых сигналов.*
24. Последовательное и параллельное представление двоичных чисел. *Временные диаграммы. Достоинства, недостатки. Применение.*
25. Комбинационные схемы. Мультиплексоры. *Определение. Примеры микросхем. Таблицы состояний. Временные диаграммы работы. Применение.*
26. Комбинационные схемы. Дешифраторы кодов. *Определение. Примеры микросхем. Таблицы состояний. Временные диаграммы работы. Применение.*
27. Триггеры. *Определение. RS-, D-, T-, JK- триггеры. Примеры микросхем. Таблицы состояний. Временные диаграммы работы. Применение.*
28. Счетчики. *Определение. Асинхронный двоичный счетчик с последовательным переносом. Пример микросхемы. Временная диаграмма работы. Применение.*
29. Регистры. *Определение. Регистр с параллельным приемом и выдачей информации. Пример микросхемы. Временная диаграмма работы. Применение.*
30. Регистры. *Определение. Регистр с последовательным приемом информации. Пример микросхемы. Временная диаграмма работы. Применение.*
31. МПС. *Структура. Назначение элементов. Связь с периферийными устройствами.*
32. МПС. *Структура. Назначение элементов. Основные режимы работы.*

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.1. Содержание дисциплины по государственному образовательному стандарту	4
1.2. Рабочая программа	4
1.3. Тематический план лекций для студентов очно-заочной формы обучения	6
1.4. Темы практических занятий для специальности 190120	7
1.5. Примерный перечень лабораторных работ для студентов очно-заочной формы обучения	7
2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	7
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА	8
4. ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ	14
5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	18
5.1. Пример расчета усилительного каскада ОК (эмиттерный повторитель)	18
5.2. Расчет усилителя высоких частот с емкостной связью на операционном усилителе	26
5.3. Пример расчета нормирующего усилителя	27
5.4. Преобразования логических функций	29
6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ	38

Редактор И. Н. Садчикова

Сводный темплан 2006 г.

Лицензия ЛР № 020308 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 78.01.07.953.П.005641.11.03 от 21.11.2003 г.

Подписано в печать

Б. кн.-журн.

Тираж

П.л.

Б.л.

Заказ

Формат 60x84 1/16

Изд-во СЗТУ

Северо-Западный государственный заочный технический университет
Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации
университетов России

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д.5