

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению контрольных работ
по дисциплинам «**Промышленная электроника**»
и «**Электроника и микросхемотехника**»
для студентов электрических специальностей
заочной формы обучения

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 1 от 07.06.2013.

Харьков
НТУ «ХПИ»
2014

Методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплинам «Промышленная электроника» и «Электроника и микросхемотехника» для студентов электрических специальностей /Сост.: О.В. Ильина, Д.С. Крылов, В.В. Варвянская, Л.В. Фетюхина. – Харьков: - НТУ «ХПИ», 2013. - 64 с. – Рус. яз.

Составители О.В. Ильина
 Д.С. Крылов
 В.В. Варвянская
 Л.В. Фетюхина

Рецензент Ю.И. Колесник

Кафедра промышленной и биомедицинской электроники

ВСТУПЛЕНИЕ

Курс «Промышленная электроника» является важной частью инженерной подготовки специалистов в области электроэнергетики и электротехники.

Изучение дисциплины должно выработать у студента умение оценить технико-экономическую эффективность применения электронных устройств, определить их параметры, квалифицированно сформулировать задание на разработку электронной аппаратуры, выявить ее совместимость с другими устройствами.

Курс базируется на знаниях математики, физики, теоретических основ электротехники и является основой для изучения автоматизации процессов производства, передачи и распределения энергии в соответствии с профилем специальности.

Согласно программе курс «Промышленная электроника» содержит 6 тем и разделов, логически связанных между собой так, что изложение данной темы основывается на знаниях, полученных при изучении предыдущего материала. В связи с этим рекомендуется последовательное, без пропусков, изучение всех тем.

В процессе изучения курса студенты самостоятельно работают с учебной литературой, ведут конспекты, слушают лекции (8 часов), выполняют лабораторные работы (8 часов), контрольные работы (выданные преподавателем), сдают зачет и проходят собеседование по лабораторным и контрольным работам и зачет или экзамен по теоретическому курсу.

Для успешной сдачи экзамена, зачета (в объеме программы, приведенной в настоящих указаниях) необходимо усвоить основные определения и понятия электроники, знать устройство, принцип действия, характеристики электронных приборов; показать умение проводить анализ с целью выбора элементной базы и подходящей электрической схемы электронного устройства для решения конкретной технической или производственной задачи.

Учитывая сложность курса, следует обратить внимание на конспектирование и изучение установочных лекций, самостоятельную работу с литературой, выполнение контрольных заданий, подготовку и выполнение лабораторных работ.

Распределение затрат времени студентами показано в таблице ниже (ориентировочно).

Затраты времени на изучение дисциплины

Вид работы	Часы
Установочные лекции	8–10
Изучение тем рабочей программы и ответы на вопросы самоконтроля	50
Выполнение контрольных работ	10
Выполнение курсовых работ (проектов)	30
Выполнение лабораторных работ	8–10

Рекомендуется сразу же после прослушивания установочных лекций составить план-график самостоятельной работы, предусмотрев регулярное, последовательное изучение материала, самопроверку по предлагаемым вопросам и выполнение контрольных заданий после изучения соответствующих разделов курса.

При самостоятельном изучении курса с помощью учебной литературы желательно вести конспект проработанного материала и письменно отвечать на все вопросы самопроверки.

При возникновении трудностей и вопросов при изучении курса следует обратиться к лектору, читающему установочные лекции, или на кафедру «Промышленная электроника», телефон секретаря кафедры (057) 707-69-52.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Контрольные задания можно оформлять в отдельной тетради, указав на титульном листе свою фамилию, имя, отчество, группу, шифр и домашний адрес.

Расчеты, формулы и пояснительный текст нужно писать четко и разборчиво, оставляя поля справа шириной не менее 1 см. Схемы и графики необходимо выполнять карандашом, используя чертежные инструменты или специальную линейку. Условные графические обозначения всех элементов необходимо вычерчивать согласно государственным стандартам Украины. Сложные графики для большей ясности рекомендуется оформлять на миллиметровой бумаге в условно принятом масштабе, удобном для проведения расчетов.

Необходимо придерживаться тех буквенных обозначений искомых электрических величин, которые регламентированы государственными стандартами.

Контрольное задание также можно оформить машинописным способом или с помощью ЭВМ на одной стороне белого листа формата А4 (210x297 мм). Записка должна быть сброшюрована, а также иметь жесткую обложку, на которой должна быть надпись «КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ».

Текст необходимо излагать, используя безличную форму глаголов. Не использовать личные местоимения «я», «мы», а также не допускаются сокращения слов.

На всех листах записки должны быть выдержаны поля: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху и снизу – по 20 мм. Можно также использовать листы бумаги форматов от 203x288 мм до 210x297 мм, а при необходимости – таблицы и иллюстрации выполнять на листах формата А3 (420x297 мм).

Шрифт печати должен быть четким, черного цвета, средней жирности. Плотность текста должна быть равномерной. Вписывать в текст отдельные иностранные слова, формулы, условные знаки можно чернилами, тушью либо пастой черного цвета. При этом плотность вписываемых символов должна быть идентична плотности основного текста. Ошибки, допущенные при печати, и графические неточности можно исправлять подчисткой или закрасиванием белой краской с дальнейшей коррекцией в этом же месте или между строками исправленного текста (фрагмента рисунка) машинописным способом.

Напечатанные программные документы должны быть выполнены на листах формата А4, пронумерованы и размещены в приложении.

Нумерация

При нумерации страниц, разделов, подразделов, пунктов, рисунков, таблиц, формул используют арабские цифры без знака «№».

Первой страницей контрольного задания является титульный лист, который включают в общую нумерацию страниц, но на нем номер страницы не ставится, на последующих листах номера проставляют в верхнем правом углу страницы без точки.

Иллюстрации (чертежи, схемы, карты, алгоритмы) и таблицы следует представлять непосредственно после текста (между абзацами), где они впервые были упомянуты, или на следующей странице. Иллюстрации и таблицы, которые размещены на отдельных страницах, включают в общую нумерацию страниц. Таблицу, рисунок или чертеж, размеры которых больше формата А4, условно считают за одну страницу и размещают в соответствующих местах после упоминания в тексте или приложениях.

Иллюстрации обозначают словом «Рисунок» и нумеруют последовательно в рамках раздела, за исключением рисунков, размещенных в приложениях. Номер иллюстрации, ее название, разделенные знаком тире, а также пояснительные надписи располагают под иллюстрацией (см. пример оформления рисунка в контрольных заданиях).

Таблицы нумеруют последовательно (за исключением таблиц, представленных в приложениях) в границах раздела. Над таблицей размещают надпись «Таблица» с указанием ее номера и её названия, которые разделяются знаком тире (см. пример оформления таблицы затрат времени).

При переносе таблицы на вторую страницу пишут «Продолжение табл.» и указывают ее номер.

Формулы в контрольном задании (если их больше одной) нумеруют. Номера формул пишут в круглых скобках у правой границы листа на уровне соответствующей формулы, например «(10)».

Выполнение иллюстраций

Иллюстрации должны быть четкими и выполняться на ЭВМ или чернилами, тушью или черной пастой на белом непрозрачном листе.

Оформление таблиц

Цифровой материал должен быть оформлен в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь название, размещенное над таблицей симметрично по отношению к тексту. Название и слово "таблица" пишут с большой буквы. Название не подчеркивают. Заголовки граф должны начинаться с большой буквы, подзаголовки – с маленькой.

Требования к формулам

Выше и ниже формулы должны быть свободные строчки. Пояснение значений символов и числовых коэффициентов необходимо дать под формулой в той последовательности, в которой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строчки, первая строчка начинается со слова «где» без двоеточия.

Ссылки

При выполнении контрольного задания студент должен ссылаться на литературные источники, что даёт возможность найти документы и проверить достоверность информации при цитировании, помогает понять смысл, язык текста. Следует ссылаться на последние издания публикаций.

Ссылки нужно оформлять в порядке упоминания в перечне ссылок, включая номер в квадратные скобки, например «в работах [1,5]» или «[4–6]».

Оформление перечня ссылок

Логическим завершением контрольного задания является перечень ссылок литературы. Источники рекомендуется размещать в перечне в порядке появления ссылок на них в тексте.

2. ТЕМЫ УСТАНОВОЧНЫХ ЛЕКЦИЙ

1. Введение. Полупроводниковые приборы и микроэлектронные приборы.
2. Электронные усилители. Обратные связи.
3. Усилительные и импульсные устройства на интегральных операционных усилителях.
4. Интегральные логические и цифровые устройства. Микропроцессоры.
5. Выпрямители малой мощности и сглаживающие фильтры.
6. Выпрямители средней и большой мощности. Инверторы, ведомые сетью. Преобразователи переменного напряжения. Импульсные регуляторы постоянного напряжения. Автономные инверторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. / Ю.С. Забродин. – М.: Высшая школа, 1982. – 496с.
2. Горбачев Г.Н. Промышленная электроника. / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин; под ред. В.А. Лабунцова.– М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Руденко В.С. Основы промышленной электроники. / В.С. Руденко, В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985.

Дополнительная

1. Основы промышленной электроники / под ред. В.Г. Герасимова 3-е изд. – М.: Высш.шк., 1986.

2. Руденко В.С. Приборы и устройства промышленной электроники. (б-ка инженера) / В.С. Руденко, В.И. Сенько, В.В. Трифонюк. – К.: Техника, 1990.

3. Изъюрова Г. И. Расчет электронных схем. Примеры и задачи. / Г.И. Изъюрова, Г.В. Королев, В.А. Терехов и др. – М.: Высш. шк., 1987.

4. Мельник А.С. Биполярные транзисторы. Для студентов спец. «Промышленная электроника». / А.С. Мельник. – К.: УМК ВО, 1991.

5. Гринфилд Дж. Транзисторные и линейные ИС. Руководство по анализу и расчету. / Дж. Гринфилд. – М.: Мир, 1992.

6. Гусев В.Г. Электроника. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев – М.: Высш. шк., 1982.

Справочная

1. Справочник по преобразовательной технике. / под ред. И.М. Чиженко. – К.: Техніка, 1978.

2. Чебовский О.Г. Силовые полупроводниковые приборы. / О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев, Р.П. Недошивин – М.: Энергоатомиздат, 1985.

3. Полупроводниковые приборы : Диоды выпрямительные. Стабилитроны. Тиристоры: справочник. / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др. – М.: КубК-а, 1994.

4. Полупроводниковые приборы: Диоды высокочастотные. Диоды импульсные. Оптоэлектронные приборы: справочник. / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др. – М.: КубК-а, 1994.

5. Полупроводниковые приборы: справочник. / В.И. Галкин, А.Л. Булычев. – Минск: Беларусь, 1994.

6. Полупроводниковые приборы. Транзисторы широкого применения: справочник. / В.И. Галкин, А.Л. Булычев. – Минск: Беларусь, 1994.

7. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности. / под ред. М.И. Голомедова, 2-е изд-е, стереотип. – М.: Радио и связь, 1995.

8. Аванесян Г.Р. Интегральные микросхемы ТТЛ, ТТЛШ: справочник по интегральным микросхемам. / Г.Р. Аванесян, В.П. Левшин – М.: Машиностроение, 1993.

9. Интегральные микросхемы: справочник. / под ред. Б.В. Тарабрина – М.: Радио и связь, 1984.

10. Государственные стандарты Украины.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ КУРСА

Тема 1. Полупроводниковые и микроэлектронные приборы

1.1. Введение. Понятие «промышленная электроника». Преимущество электронных методов преобразования энергии и информации. Использование достижений электроники в энергетике, машиностроении, химическом машиностроении (роль курса при подготовке инженеров различных специальностей).

1.2. Полупроводниковые приборы. Краткие сведения об электропроводности чистых и примесных полупроводников: зонная диаграмма кристалла, термогенерация и рекомбинация, зависимость концентрации носителей заряда от концентрации примесей и температуры, зарядовая нейтральность полупроводников.

1.3. Физические процессы в р-п-переходах, их устройство. Пробой р-п-перехода, его разновидности: электрический, тепловой. Вольт-амперная характеристика и параметры диодов.

1.4. Устройство и принцип действия биполярных транзисторов. Вольт-амперные характеристики при включении с общим эмиттером, с общим коллектором, параметры и схемы замещения транзисторов.

1.5. Полевые транзисторы, их разновидности, устройство и принцип действия. Характеристики, схемы замещения и параметры полевых транзисторов в режиме с общим истоком.

1.6. Устройство тиристора, двухтранзисторная модель тиристора, принцип действия и вольт-амперная характеристика, параметры. Особенности включения однооперационных тиристорov в цепях переменного и постоянного токов. Разновидности тиристорov.

1.7. Интегральные микросхемы, основные разновидности, технико-экономические достоинства микроэлектроники.

1.8. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы.

Методические указания

В процессе изучения данной темы у студента должно сформироваться представление об основных физических принципах работы полупроводниковых приборов. Наличие в полупроводниках двух типов проводимости (*p* - дырочной и *n* - электронной) приводит к тому, что на *p-n*-переходе возникает разность потенциалов, обусловленная появлением слоя, обедненного носителями, ширина которого зависит от величины и

знака напряжения, приложенного к p - n -переходу. Необходимо изучить процессы в p - n -переходе в отсутствие внешнего поля, прямосмещенный и обратносмещенный режимы p - n -перехода.

Ясное представление о механизме односторонней проводимости p - n перехода является основным в понимании работы всех полупроводников.

На основании данных, полученных в курсе физики о плоской модели p - n перехода, следует углубить эти знания, усвоить понятие потенциально-го барьера, понять механизм электрического пробоя при обратном включении, ознакомиться с особенностями вольт-амперной характеристики и параметрами диодов, особенностями их работы в качестве ключей в выпрямителях и ограничителях в стабилизаторах напряжения.

Изучив принцип работы диодов, нужно обратить внимание на их классификацию и маркировку (выпрямительные, силовые, импульсные, стабилитроны, фото- и светодиоды и т.д.), а также особенности их вольт-амперных характеристик (ВАХ) и режимов работы.

При изучении транзистора необходимо разобраться в конструкции биполярного транзистора и природе взаимодействия эмиттерного и коллекторного p - n -переходов, понять роль базы в этом взаимодействии. Следует уметь изображать вольт-амперные характеристики и рассчитывать по ним основные статические параметры транзистора $h_{11э}$, $h_{12э}$, $h_{21э}$, $h_{22э}$, $h_{21б}$.

На работу транзистора существенное влияние оказывает величина обратного тока коллекторного перехода, поэтому необходимо ясно представлять его физическую природу. При работе транзистора на высоких частотах существенным фактором становится пролетное время неосновных носителей.

В процессе изучения полевых транзисторов следует уделить внимание процессам, связанным с движением в канале основных носителей – дырок или электронов; уяснить причины, по которым входное сопротивление полевого транзистора намного больше, чем биполярного.

Особо нужно рассмотреть характеристики и конструктивные особенности полевых транзисторов с изолированным индуцированным каналом и изолированным встроенным каналом.

При изучении тиристоров необходимо уделить внимание особенностям токопрохождения в p - n - p - n -структурах. Понять механизм работы тиристоров можно, воспользовавшись двухтранзисторной аналогией [1, с.76–79] и рассмотрев возникновение механизма внутренней положительной обратной связи в приборе, благодаря которой процесс отпирания прибора при подаче управляющего импульса или достижении напряжения переключения происходит скачкообразно. Здесь нужно ясно представлять основные участки ветви вольт-амперных характеристик тиристора: анод-

ная ВАХ тиристора при прямом включении – точка переключения, зависимость напряжения переключения от тока управления, точки удержания и выключения; анодная ВАХ тиристора при обратном включении.

Интегральные микросхемы (ИМС) являются основой современной электроники. Изучая этот раздел, следует обратить внимание на технико-экономические преимущества микроэлектроники 3-го, 4-го поколений.

Приступая к изучению приборов оптоэлектроники, следует особое внимание уделить тиристорным оптронам, все шире применяющимся в электроэнергетике.

Литература: основн.: [1], с. 7–86, [2], с. 9–45. дополн.: [1], с.12–16, 21–43, 51–53; [2], с.4–85.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое электронно-дырочный переход?
2. Объясните классификацию, назначение и маркировку полупроводниковых диодов, стабилитронов, варикапов.
3. Объясните устройство и физические принципы работы биполярных транзисторов. Чем отличаются *n-p-n*- и *p-n-p*-транзисторы?
4. Приведите схемы включения транзистора для снятия статических входных и выходных характеристик. Изобразите типовые характеристики для схемы с общим эмиттером.
5. Перечислите и объясните основные физические параметры транзисторов.
6. Приведите соотношения, связывающие основные внутренние физические параметры и *h*- параметры транзисторов.
7. Приведите вольт-амперные характеристики тиристора и объясните принцип действия и назначение тиристора.
8. Объясните устройство и принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором и полевого транзистора с *p-n*-переходом.
9. Объясните классификацию и маркировку транзисторов и тиристор.
10. Приведите условные графические изображения диодов, транзисторов, тиристорных разных типов.
11. Назовите преимущества ИМС. Сформулируйте отличительные особенности полупроводниковых и гибридных ИМС.

Тема 2. Электронные усилители. Обратные связи

2.1. Основные усилительные каскады. Передаточная характеристика транзисторного усилителя по схеме с общим эмиттером, режимы усиления. Графический анализ каскада по схеме с общим эмиттером (ОЭ), основные соотношения для выбора режима покоя. Анализ каскада по переменному току: схема замещения каскада, расчет основных параметров каскада. Каскад с отрицательной обратной связью (ООС) по току, стабилизация режима покоя. Типы обратной связи и их влияние на характеристики усилителей.

2.2. Краткие сведения о других типах усилительных каскадов: каскад с общим коллектором (эмиттерный повторитель) и каскады на полевых транзисторах. Их назначение, устройство, усилительные параметры.

2.3. Усилители постоянного тока (УПТ); основной тип усилительных устройств, его частотная характеристика, особенности непосредственной связи, дрейф нуля. Дифференциальный каскад, его устройство, режим покоя и дрейф нуля, способы подачи входного сигнала, понятие о синфазном сигнале. Практические схемы дифференциальных каскадов, дифференциальный каскад с несимметричным выходом.

Методические указания

В этой теме следует изучить физические процессы, происходящие в усилительных схемах, и получить представление об основных параметрах усилителей. Важно четко представлять себе механизм работы усилительного каскада в схеме с ОЭ, а также освоить основные положения анализа и расчета параметров усилителя графоаналитическим методом с применением эквивалентных схем (определение входных и выходных сопротивлений, коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности).

Необходимо уметь строить линию нагрузки на вольт-амперных характеристиках транзисторов (схема ОЭ); выбирать рабочую точку (точку покоя); определять максимальное значение сигнала на входе, при котором обеспечивается близкий к линейному режим усилителя. В ходе изучения темы нужно научиться рассчитывать цепи термостабилизации, а также строить амплитудно-частотную характеристику в заданном частотном диапазоне и по известным параметрам элементов усилителя.

В промышленной электронике широко применяются усилители мощности (УМ), в которых транзисторы работают в нелинейном режиме, что усложняет анализ, однако, позволяет увеличить КПД и выходную мощность. В связи с этим важно ознакомиться с режимами усиления А, В

и С, знать, в каких случаях тот или иной класс предпочтительнее; понять, какую роль играет выходной трансформатор в УМ; обратить внимание на различие двухтактной и однотактной схем; разобраться в сущности физических основ действия обратных связей (отрицательных и положительных) и знать результаты их действия.

Усилители чаще состоят из двух и более каскадов, поэтому нужно знать виды межкаскадных связей и уметь перейти от характеристик и параметров однокаскадных схем к характеристикам и параметрам многокаскадных усилителей.

При изучении усилителей постоянного тока (УПТ) следует знать причины «дрейфа нуля» и способы его снижения (параметрические, структурные); уяснить принцип действия дифференциального УПТ и усилителей по системе «модуляция–демодуляция».

Литература: основн.: [1], с.87–112, с.131–160; [2], с.49–104. до-полн.: [1], с.91–11.

Вопросы для самопроверки

1. Изобразите три схемы усилительных каскадов на транзисторах (схема с общим эмиттером (ОЭ), с общей базой (ОБ), с общим коллектором (ОК)). Объясните принцип их действия.

2. Проведите графический анализ работы транзисторного усилителя с общим эмиттером. Как изменится передаточная характеристика каскада с ОЭ, если увеличить R_k , E_k , $h_{21э}$.

3. Изобразите схемы однотактного и двухтактного транзисторных каскадов усиления мощности, объясните принцип их работы с помощью временных диаграмм напряжений и токов.

4. Приведите схему и принцип действия дифференциального усилителя постоянного тока.

5. Объясните принцип действия и назначение отрицательной обратной связи в усилителях.

6. Объясните на типовых схемах транзисторных каскадов с общим эмиттером и одним источником питания способы создания напряжения смещения на базе.

7. Определите общий коэффициент усиления трехкаскадного усилителя, если коэффициенты усиления каскадов $K_1=1$; $K_2=5$; $K_3=4$.

Тема 3. Усилительные и импульсные устройства на интегральных операционных усилителях

3.1. Операционный усилитель (ОУ): назначение и устройство. Параметры и характеристики идеального и реального ОУ. Инвертирующий и неинвертирующий ОУ с отрицательной обратной связью, устройство, принцип действия, расчет параметров.

3.2. Частотные свойства и самовозбуждение операционных усилителей. Методы компенсации влияния напряжения сдвига и токов утечки. Понятие об усилителях с емкостной связью, их частотная характеристика.

3.3. Построение сумматора и интегратора на ОУ. Простейшие генераторы синусоидальных колебаний на ОУ. Избирательные усилители.

3.4. Компаратор на ОУ. Основные особенности импульсных устройств на ОУ. Мультивибратор на ОУ. Назначение, принцип действия, расчет основных соотношений. Способы регулирования частоты и скважности мультивибраторов. Одновибратор на ОУ, устройство и принцип действия, расчет. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения, применение в них интеграторов на ОУ.

3.5. Активные фильтры.

Методические указания

Операционные усилители в интегральном исполнении в настоящее время составляют основу аналоговых интегральных микросхем и широко используются для усиления импульсных сигналов.

Интегральные ОУ в схемотехническом отношении обычно строят по схеме усилителя с непосредственной связью между каскадами с дифференциальным входом. Основная особенность ОУ – большой коэффициент усиления ($10^5 - 10^6$), что позволяет пользоваться идеальной моделью ОУ ($K = \infty$, $R_{вх} = \infty$, $R_{вых} = 0$). Такое допущение не вносит существенной погрешности и допустимо для большинства задач. Однако когда погрешностью пренебречь нельзя, учитывают реальные параметры ОУ.

В ходе изучения ОУ следует ознакомиться с переходной (амплитудной) характеристикой, с типовыми АЧХ и ФЧХ операционного усилителя. Электронные схемы на основе ОУ работают в линейном режиме только при введении внешней отрицательной обратной связи. В этой связи необходимо рассмотреть принцип построения инвертирующего и неинвертирующего усилителей и усилителя с единичным коэффициентом усиления на основе ОУ и вывести выражения для коэффициентов усиления.

На основе стандартных операционных усилителей могут быть построены широко используемые функциональные узлы электроники: сумматоры, интеграторы, масштабные усилители, компараторы. Перед изучением принципа действия импульсных устройств следует оценить преимущества передачи информации в виде импульсов. Современные ОУ обладают достаточно широкой полосой пропускания, что позволяет использовать их в качестве усилителей импульсных сигналов.

Необходимо ознакомиться с применением ОУ для создания формирователей импульсов (мультивибратор, одновибратор). Изучая эти устройства, важно уяснить, как с помощью времязадающих цепей и обратных связей в устройствах обеспечивается регулирование длительности импульса и частоты следования импульсов мультивибратора. Также нужно обратить внимание на схемное обеспечение устойчивого состояния одновибратора, из которого он выводится внешним импульсом.

Активные фильтры отличаются от пассивных тем, что в их состав входят активные элементы. Их часто называют усилителями с частотно-избирательными свойствами. Необходимо рассмотреть принципы построения фильтров низких частот (ФНЧ), высоких частот (ФВЧ), и полосовых фильтров (ПФ) первого и высших порядков, вывести выражения для коэффициента передачи, построить и проанализировать ЛАЧХ. Учтите, что рабочий диапазон частот ограничен сверху максимальной рабочей частотой усилительного элемента. Следует различать понятия «частота среза» и «частота сопряжения».

Литература: основн.: [1], с.131–160, с.176–192, с.194–199; [2], с.81–133. дополн.: [1], с.122–138, [2], с.112–188.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные параметры операционного усилителя.
2. Как с помощью отрицательной обратной связи обеспечивается требуемый коэффициент усиления инвертирующего и неинвертирующего ОУ?
3. Объясните принцип работы сумматора на ОУ. Нарисуйте схему сумматора на 3 входа.
4. Объясните принцип работы интегратора на ОУ. Приведите его схему и диаграммы.
5. Как работает компаратор на ОУ? Приведите схему и диаграмму работы.

6. Поясните, какую роль играет положительная обратная связь в генераторе синусоидальных колебаний. Начертите схему генератора синусоидальных колебаний на ОУ.

7. Начертите схему генератора линейно-изменяющегося напряжения с использованием интегратора на ОУ.

8. Начертите схему симметричного мультивибратора на ОУ. Какие элементы схемы являются времязадающими? Какое влияние окажет несимметричность источников питания на работу мультивибратора?

9. Нарисуйте схему одновибратора на ОУ. Используя временные диаграммы, поясните принцип работы такого устройства. Какие элементы схемы определяют длительность импульса одновибратора?

10. Приведите схемы ФНЧ, ФВЧ и ПФ. Запишите выражения для коэффициентов передач.

Тема 4. Интегральные логические и цифровые устройства

4.1. Электронные схемы, реализующие логические операции И, ИЛИ, НЕ. Типовой логический элемент И-НЕ транзисторно-транзисторной логики. Элементы алгебры логики и синтеза комбинационных схем. Представление логических функций, СДНФ и СКНФ. Минимизация логических функций. Карты Карно. Интегральные комбинационные схемы: дешифраторы, мультиплексоры, сумматоры, цифровые схемы сравнения. Построение комбинационных устройств на микросхемах постоянных запоминающих устройств (ПЗУ).

4.2. Особенности последовательностных устройств. Асинхронный *RS*-триггер, его устройство и принцип действия. Синхронные триггеры: *JK*, *T*, *D*, *RS*. Таблица переходов. Роль тактового входа, назначение. Принцип построения бинарных счетчиков, счетчики в интегральном исполнении, понятие о реверсивных счетчиках и счетчиках с произвольным коэффициентом счета. Параллельный и последовательный регистры, устройство и принцип действия.

4.3. Микропроцессор (МП). Состав и структура микроЭВМ: центральный процессор, источники и носители информации, устройства ввода и вывода, внешняя память.

4.4. Структура центрального процессора. Арифметико-логическое устройство. Основная память (ОЗУ, ПЗУ); регистровая память. Устройство управления. Регистр команд, регистр признаков, аккумулятор.

4.5. Виды выполняемых операций в микроЭВМ. Шинная организация связей. Виды команд. Виды адресации. Процесс обработки информации. Тактирование микропроцессора.

4.6. Программирование микроЭВМ, язык программирования АССЕМБЛЕР.

Методические указания

Логические элементы вместе с запоминающими элементами составляют основу цифровой электроники. Логические элементы выполняют простейшие логические операции над информацией, а запоминающие устройства служат для её хранения.

Изучение электронных схем, реализующих логические операции, следует начать с изучения простейших ключевых элементов. Необходимо понять запись логической функции в виде таблицы истинности, затем ее графическое представление в виде карты Карно. Важно усвоить, с какой целью производится минимизация логической функции. После этого необходимо изучить типовой логический элемент И-НЕ на основе транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Изучив базовую схему, можно переходить к изучению синтеза комбинационных схем. Все логические операции, как правило, осуществляются с помощью цифровых интегральных микросхем.

Значительную группу логических устройств составляют триггеры – устройства, имеющие два устойчивых состояния. Переход из одного состояния в другое происходит под действием внешних электрических сигналов. В первую очередь следует ознакомиться с принципом работы простейшего асинхронного триггера, составленного из логических элементов И-НЕ, ИЛИ-НЕ, освоить таблицу состояний триггера. Затем рекомендуется изучить более сложные триггеры: *RS*, *T*, *D*, *JK*. Наиболее распространенными среди них являются универсальные *JK*-триггеры, с помощью которых можно реализовать все другие их типы.

На базе триггеров строятся счетчики разных типов с разными коэффициентами счета. Необходимо ясно представлять принцип работы двоичного счетчика. При помощи триггеров и логических элементов образуют параллельный и последовательный регистры и более сложные схемы.

Завершающим этапом в изучении этой темы является освоение структуры микропроцессора, его состава и функций основных узлов. Необходимо получить представление о процессе обработки информации в микропроцессоре и элементах программирования на языке АССЕМБЛЕР. Все процессы в микропроцессоре идут под контролем устройства управления. Необходимо ознакомиться с основными узлами микропроцессора: АЛУ, ОЗУ, ПЗУ – и регистрами.

В отличие от языков высокого уровня АССЕМБЛЕР представляет машинно-ориентированный язык, отражающий аппаратную структуру микроЭВМ. Важно понять, что именно этот язык программирования наиболее рационально использует технические средства ЭВМ.

Литература: основн.: [1], с.207–265; [2], с.134–187. дополн.: [1], с. 75–224; [2] с.187–247.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое многоэмиттерный транзистор? (Структура, схема, функционирование в составе ТТЛ элемента И-НЕ).

2. Приведите условно-графические обозначения элементов И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ с двумя входами, с тремя входами. Объясните их действие с помощью таблицы истинности.

3. Приведите таблицу истинности и условно-графическое изображение инвертора.

4. Нарисуйте структурную схему асинхронного *RS*-триггера на элементах И-НЕ или ИЛИ-НЕ. Проанализируйте работу этого триггера при подаче на оба его входа единичных сигналов. Почему этот режим приводит к неопределенности в работе триггера?

5. Нарисуйте схему последовательного счетчика на базе *T*-триггеров. Объясните принцип его работы.

6. Нарисуйте и объясните принцип работы параллельного регистра на *RS*-триггерах.

7. Нарисуйте и поясните принцип работы сдвигающего регистра на *JK*-триггерах.

8. Изобразите структурную схему микропроцессора и поясните назначение его элементов.

9. Перечислите типы команд микропроцессора.

10. Зачем нужны различные организации памяти и адресации?

Тема 5. Выпрямители малой мощности и сглаживающие фильтры

5.1. Однофазные выпрямители. Однофазные неуправляемые выпрямители (нулевой, мостовой) с активной и активно-индуктивной нагрузкой. Принцип работы. Основные соотношения.

5.2. Сглаживающие фильтры. Коэффициент пульсаций и коэффициент сглаживания. Влияние емкостного фильтра. Внешние характеристики выпрямителя малой мощности. Схемы замещения выпрямителей с фильтрами.

5.3. Стабилизаторы напряжения.

Методические указания

Выпрямители – устройства, преобразующие переменный ток в постоянный. В настоящее время маломощные выпрямители широко используются в промышленной электронике для питания постоянным током электронных управляющих, измерительных и вычислительных устройств. Изучая этот раздел, нужно обратить внимание на принцип работы и основные соотношения, связывающие ток и напряжение в нагрузке с токами и напряжениями в разных цепях выпрямителя. Следует изучить временные диаграммы напряжений и токов в цепях выпрямителя. Особое внимание нужно уделить влиянию характера нагрузки на процессы, протекающие в выпрямителе. Полезно ознакомиться с методикой расчета таких выпрямителей, учитывая особенности работы с различными видами фильтров.

Стабильность напряжения питания является необходимым условием работы многих электронных устройств. При изучении темы необходимо обратить внимание на различие принципов работы параметрического и компенсационного стабилизаторов, изучить их схемы замещения и внешние характеристики. Компенсационные стабилизаторы также выпускаются в виде ИМС.

Литература: основн.: [1], с.287–305; [2], с.189–212. дополн.: [1], с.224–243.

Вопросы для самопроверки

1. Нарисуйте и объясните работу схемы однофазного мостового выпрямителя и выпрямителя с нулевой точкой. Используя временные диаграммы, поясните принцип действия этих устройств. Приведите выражение для среднего значения выпрямленного напряжения при активном характере нагрузки.

2. Как влияют сглаживающие фильтры на форму выходного напряжения? Приведите примеры схем сглаживающих фильтров. Укажите, какая величина используется для характеристики фильтров.

3. В каких случаях следует использовать емкостные фильтры, индуктивные фильтры или LC -фильтры?

4. Нарисуйте временные зависимости выходного напряжения однофазного мостового выпрямителя при работе на емкостную и активно-индуктивную нагрузку.

5. Как определить ток стабилизатора $I_{ст. max}$ в параметрическом стабилизаторе?

6. Приведите схему компенсационного стабилизатора напряжения. Поясните принцип работы такого устройства.

Тема 6. Выпрямители средней и большой мощности. Ведомые сетью инверторы. Преобразователи переменного напряжения. Импульсные регуляторы постоянного напряжения. Автономные инверторы

6.1. Управляемые выпрямители однофазного тока с активно-индуктивной нагрузкой, внешние и регулировочные характеристики.

6.2. Неуправляемые трехфазные выпрямители. Принцип действия и основные соотношения. Управляемые трехфазные выпрямители, регулировочные характеристики в режиме непрерывного тока. Особенности режима прерывистых токов.

6.3. Коммутация в преобразователях средней и большой мощности. Внешние характеристики.

6.4. Работа трехфазных преобразователей в инверторном режиме. Входная и ограничительная характеристики инвертора. Реверсивные выпрямители. Регулируемые преобразователи переменного напряжения, их работа на активную и активно-индуктивную нагрузку.

6.5. Широтно-импульсные преобразователи.

6.6. Автономные инверторы.

Методические указания

В управляемых выпрямителях для регулирования напряжения широко применяется фазовый способ, основанный на управлении моментом открытия ключей выпрямителя. На примере изучения простейшего выпрямителя следует уяснить, как строятся внешние и регулировочные характеристики.

Для питания потребителей средней и большой мощности, как правило, применяются схемы трехфазных выпрямителей, которые равномерно нагружают сеть и отличаются высоким коэффициентом использования трансформатора. Вместе с тем, в случае больших мощностей предъявляются жесткие требования к полупроводниковым преобразователям. Поэтому в ходе изучения раздела следует ознакомиться с типовыми применениями ведомых сетью полупроводниковых преобразователей и по справочной литературе с основными характеристиками выпускаемых преобразователей.

Необходимо изучить принцип действия управляемого трехфазного выпрямителя, регулировочные характеристики в режиме непрерывного тока, а также особенности режима прерывистых токов. Особого внимания заслуживает работа мощных трехфазных преобразователей в инверторном режиме. Здесь следует добиться ясного представления об отличии режима инвертирования от режима выпрямления. При выпрямлении источником энергии является сеть переменного тока, при работе в режиме инвертирования – машина постоянного тока, а сетью – потребитель.

В режиме инвертирования при неудачном выборе моментов открытия тиристоров может возникнуть опрокидывание инвертора, для устранения которого необходимо обеспечить открытие тиристоров преимущественно при отрицательной полярности вторичных напряжений с углом опережения β .

Изучая работу регулируемых преобразователей переменного напряжения на активно-индуктивную нагрузку, необходимо провести сравнение симметричных и несимметричных мостовых схем. Это позволит в зависимости от технических требований правильно выбрать схему, обеспечивающую необходимые характеристики.

Литература: основн.: [1], с.315–345, 353–379; [2] с.12–248, 296–313. дополн.: [1] с.242–253, 255–268,[2], с.247–322.

Вопросы для самопроверки

1. Нарисуйте схему и объясните работу однофазного управляемого выпрямителя.

2. Нарисуйте и объясните схему управляемого трехфазного выпрямителя. Поясните принцип регулирования выходного напряжения.

3. Поясните регулировочную характеристику управляемого выпрямителя при активной, активно-индуктивной и чисто индуктивной нагрузках.

4. Нарисуйте и объясните временные диаграммы тока в нагрузке и вентиллях в режиме прерывистых токов в управляемом трехфазном выпрямителе для двух режимов: максимальное и минимальное напряжение.

5. Объясните принцип работы трехфазного преобразователя в инверторном режиме.

6. Как проявляется влияние процессов коммутации на характеристики и показатели ведомого сетью инвертора?

7. Как возникает явление опрокидывания инвертора?

8. С какой целью применяются преобразователи частоты в электроприводе?

9. Перечислите основные типы автономных инверторов.

4. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Выпрямители со сглаживающими фильтрами.
2. Управляемые выпрямители.
3. Полупроводниковые стабилизаторы.
4. Усилители постоянного тока.
5. Одиночные усилительные каскады на транзисторах.
6. Аналоговые схемы на ОУ.
7. Импульсные схемы на ОУ.
8. Генераторы импульсов на транзисторах и интегральных микросхемах.
9. Логические элементы.
10. Дешифратор и мультиплексор.
11. Триггеры на микросхемах.
12. Счетчики и регистры.
13. Элементы устройств сопряжения с объектом.
14. Элементы построения микропроцессорных систем.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

При выполнении контрольных заданий необходимо пользоваться данными методическими указаниями. Требования, изложенные здесь, являются обязательными. Индивидуальное задание нужно выполнять после изучения теоретического материала и ответов на вопросы для самопроверки. Ориентировочная трудоемкость выполнения контрольных заданий в среднем 10 ч.

При возникновении трудностей в ходе решения задания необходимо обратиться на кафедру за консультацией в устной или письменной форме.

В процессе расчетов искомых величин необходимо привести расчетную формулу с расшифровкой входящих в нее параметров. Затем подставить в нее численные значения с учетом размерности и далее выполнить численный расчет. Ответ привести с указанием наименования полученной величины.

В процессе расчетов сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов полученный результат округлить до ближайшего стандартного значения, взятого из справочника (см. рекомендуемую литературу). Расчет токов, напряжений и других электрических величин проводить с точностью до второй значащей цифры.

В ходе выполнения контрольных заданий важно научиться выбирать по справочникам типы элементов электрической схемы. Например, резистор – по расчетным значениям сопротивления и рассеиваемой мощности; конденсатор – по расчетным значениям емкости и рабочего напряжения.

6. ПРИМЕРНЫЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ЗАДАНИЙ И ХОД ИХ РЕШЕНИЙ

1. Расчет выпрямителя со сглаживающим фильтром.
2. Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе.
3. Расчет инвертирующего и неинвертирующего усилителей.
4. Расчет схем одновибратора и мультивибратора на ОУ.
5. Синтез логических схем.
6. Мультивибратор на логической базе И-НЕ.
7. Расчет усилителя напряжения.
8. Расчет схем активных фильтров.

Задание 1. Расчет выпрямителя со сглаживающим фильтром

Исходные данные: схема выпрямителя – двухполупериодная с нулевым выводом (рис. 1.1) или однофазная мостовая (рис. 1.2); среднее значение выпрямленного тока I_d ; напряжение U_d ; значение сопротивления на нагрузке R_n ; коэффициент пульсаций на нагрузке q_n ; действующее значение напряжения сети U_1 ; тип фильтра. Типы фильтров: индуктивный L ; емкостной C ; Г-образный LC -фильтр.

Содержание задания

1. Привести заданную схему выпрямителя с указанным типом фильтра. Пояснить принцип работы устройства.
2. Выбрать тип полупроводникового диода.
3. Рассчитать действующие значения тока первичной I_1 и I_2 вторичной обмоток трансформатора, действующее значение напряжения вторичной обмотки U_2 , типовую мощность трансформатора P_T и его коэффициент трансформации n_T .
4. Рассчитать параметры элементов фильтра: емкость C_ϕ , индуктивность L_ϕ и коэффициент сглаживания S .
5. Построить временные диаграммы напряжений и токов схемы.

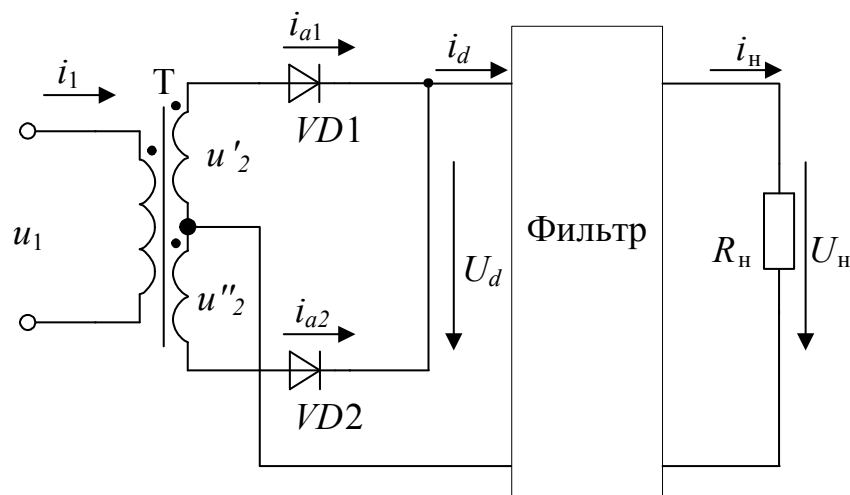


Рисунок 1.1 – Однофазная двухполупериодная схема выпрямителя с нулевым выводом

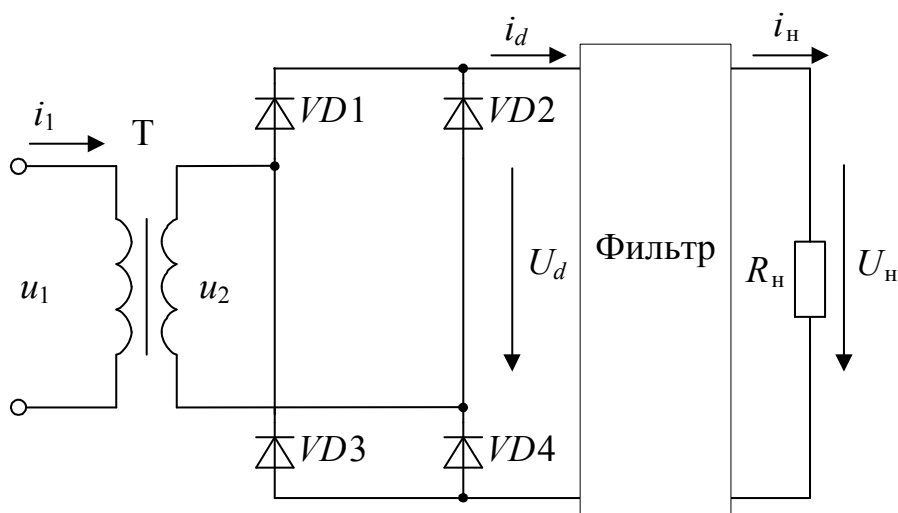


Рисунок 1.2 – Однофазная мостовая схема выпрямителя

Методические указания к выполнению задания

Для решения задания необходимо воспользоваться сведениями, изложенными в литературе [1, 2], справочными данными о полупроводниковых диодах [3], а также рекомендуемой ниже последовательностью расчета.

Чтобы правильно выполнить расчет выпрямителя, необходимо знать, каким образом заданный фильтр определяет характер нагрузки диодной группы выпрямителя и тем самым изменяет форму токов и напряжений выпрямителя; в конечном итоге это определяет последовательность расчета и расчетные соотношения.

Следует иметь в виду, что индуктивные фильтры используются в основном в мощных выпрямителях, а LC - и C -фильтры – в источниках вторичного электропитания (ИВЭП).

При работе выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку (в случае применения LC - и L -фильтров) форма кривых напряжения на выходе диодной группы двухполупериодного выпрямителя не отличается от формы кривых на выходе такой же схемы при чисто активной нагрузке. Поэтому действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора U_2 , максимальное обратное напряжение на диоде $U_{обр.мах}$, коэффициент пульсаций $q_{вх}$ на входе фильтра рассчитываются по формулам, приведенным в [1, табл.22.1]:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi} = 0,9U_2; \quad (1.1)$$

$$U_2 = 1.11 \cdot U_d. \quad (1.2)$$

Максимальное обратное напряжение на диодах в двухполупериодном выпрямителе с нулевым выводом

$$U_{обр.мах} = \pi \cdot U_d = 2\sqrt{2}U_2. \quad (1.3)$$

Максимальное обратное напряжение на диодах в однофазном мостовом выпрямителе

$$U_{обр.мах} = \frac{\pi}{2} \cdot U_d = \sqrt{2}U_2. \quad (1.4)$$

Коэффициент пульсации на выходе двухполупериодного и мостового выпрямителей:

$$q_{вх} = \frac{2}{m^2 - 1} = 0.67, \quad (1.5)$$

где m – кратность частоты переменной составляющей выпрямленного напряжения к частоте сети, равная 1 – для однополупериодного и 2 – для двухполупериодного выпрямителей.

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора I_2 и средний анодный ток диода $I_{a\text{ ср}}$ определяются соотношениями:

для двухполупериодного с нулевым выводом:

$$I_2 = I_d / \sqrt{2}; \quad I_{a\text{ ср}} = I_d / 2; \quad (1.6)$$

для мостового:

$$I_2 = I_d; \quad I_{a\text{ ср}} = I_d / 2, \quad (1.7)$$

где I_d – постоянная составляющая тока на выходе выпрямителя.

Приведенные выше формулы справедливы для идеальных выпрямителей. Для реальных выпрямителей необходимо учитывать сопротивление рассеяния трансформатора.

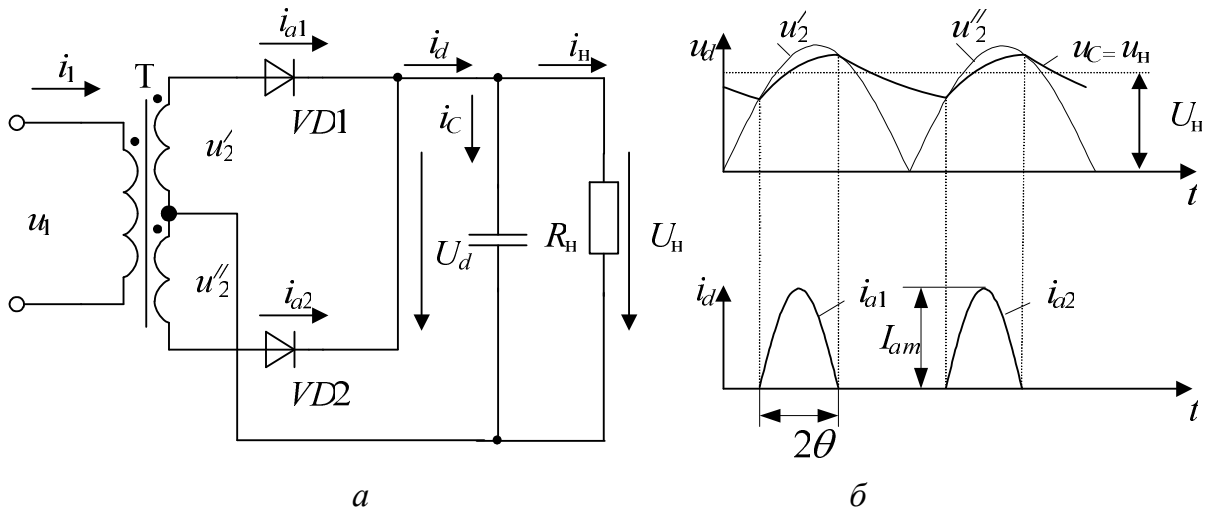


Рисунок 1.3 – Схема однофазного выпрямителя с выводом средней точки трансформатора (а) и временные диаграммы напряжений и токов выпрямителя (б)

В основу расчета выпрямителя при активно-емкостной нагрузке положена связь тока I_d с углом отсечки θ тока диода [1,2]:

$$I_d = \frac{mU_d}{\pi R_{TM}} (\operatorname{tg} \theta - \theta), \quad (1.8)$$

где U_d – постоянное напряжение на выходе выпрямителя;

R_{ϕ} – сопротивление фазы, состоящее из сопротивлений вентилей и сопротивления трансформатора. Из последнего выражения при учете того, что $U_d/I_d = R_n$, получается формула для определения вспомогательного коэффициента A :

$$A = \operatorname{tg} \theta - \theta = \frac{\pi R_{TM}}{mR}. \quad (1.9)$$

По коэффициенту A и графикам зависимостей коэффициентов B, D, F, M от коэффициента A (рис. 1.4) могут быть найдены параметры выпрямителя.

Для двухполупериодного выпрямителя с нулевой точкой:

$$\begin{aligned} I_2 &= I_d D / m; \\ U_{обр. \max} &= 2\sqrt{2}U_2. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Для мостового выпрямителя:

$$\begin{aligned} I_2 &= I_d D \sqrt{2} / m; \\ U_{обр. \max} &= \sqrt{2}U_2. \end{aligned} \quad (1.11)$$

Для обеих схем справедливо:

$$U_2 = BU_d; I_{a m} = \frac{I_d F}{m}. \quad (1.12)$$

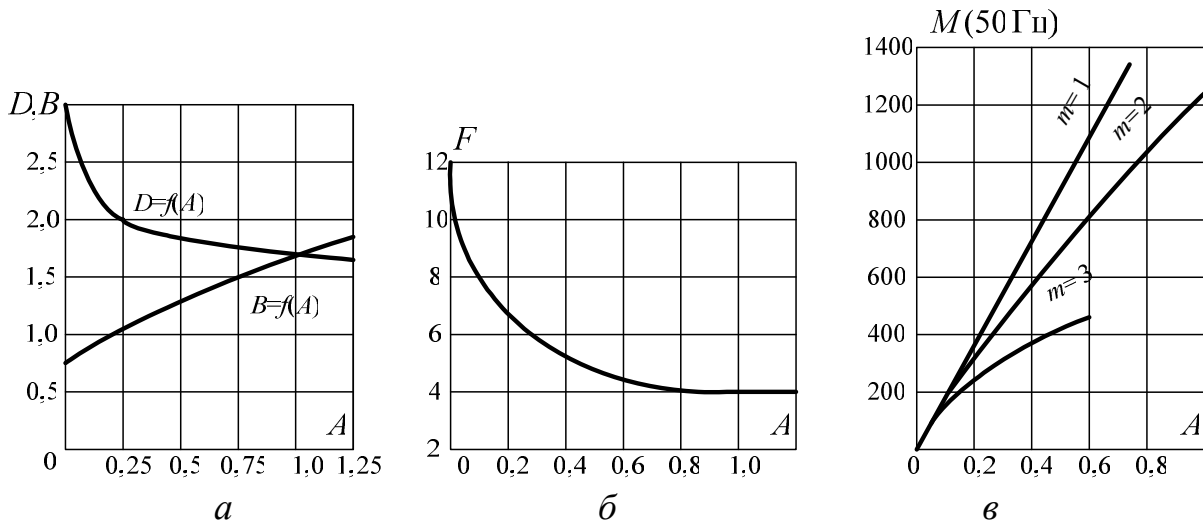


Рисунок 1.4 – Графики функций $D(A)$, $B(A)$, $F(A)$, $M(A)$

Требуемое для расчета коэффициента A значение сопротивления R_ϕ можно найти в табл. 1.1, которая составлена на основе опытных данных.

Таблица 1.1 – Экспериментальные данные для нахождения сопротивления R_ϕ

$P_d = I_d U_d$, Вт	1÷10	10÷99	100
R_ϕ , Ом	$(0,08 \div 0,1) R_H$	$(0,05 \div 0,09) R_H$	$(0,06 \div 0,04) R_H$

Далее рекомендуется придерживаться такой последовательности расчета:

1. По заданным значениям U_d , I_d или R_H с учетом типа выпрямителя определить величины U_2 , I_2 , $I_{a m}$, $U_{обр.max}$ и средний ток диода:

$$I_{a ср} = I_d / m. \quad (1.13)$$

2. В соответствии с полученными в расчете значениями $I_{a ср}$, $I_{a m}$, $U_{обр.max}$ выбрать по справочнику тип диода и выписать его паспортные данные, учтя коэффициент запаса по току $K_{3,m} = 1,1$.

При этом необходимо обеспечить выполнение условий:

$$U_{VDmax} > U_{обрmax};$$

$$I_{a max} > I_{a ср};$$

$$I_{a m} = \pi \cdot I_{a max} > I_{a m},$$

где $U_{VD max}$ – максимально допустимое значение обратного напряжения на диоде;

$I_{a\max}$ – максимально допустимое среднее значение прямого тока диода;
 I_{am} – наибольшая допустимая амплитуда прямого тока.

3. Рассчитать коэффициент трансформации $n = U_1/U_2$ и действующее значение тока первичной обмотки трансформатора $I_1 = I_2/n$.

4. Выполнить расчет сглаживающего фильтра.

Для емкостного фильтра определить требуемую емкость конденсатора (в микрофарадах)

$$C_\phi \geq M / R_\phi q_n, \quad (1.14)$$

где M – коэффициент, определяемый по графику (рис. 1.4, в).

По рассчитанному значению емкости выбрать конденсатор из таблицы 3. При отсутствии в таблице конденсатора необходимого номинала применяется параллельное включение конденсаторов.

Значение индуктивности L_ϕ рассчитывается как

$$L_\phi \geq SR_n / 2\pi f_c; \quad (1.15)$$

для индуктивно-емкостного фильтра

$$L_\phi \geq (S + 1) / (4\pi f_c)^2 C_\phi, \quad (1.16)$$

где S – требуемый коэффициент сглаживания, определяемый из выражения $S = q_{ex} / q_n$;

f_c – частота сети, равная 50 Гц.

При выборе параметров фильтра необходимо соблюдать условие $X_L > X_C$. C_ϕ – емкость фильтра, которая принимается равной единицам или десяткам мкФ.

Далее следует вычертить временные диаграммы напряжений и токов, а именно: U_2, I_2 – на трансформаторе; U_d, I_d – на диоде; U_a, I_a – на выходе выпрямителя; U_n, I_n – на нагрузке.

Таблица 1.2 – Конденсаторы постоянной ёмкости

Номинальное напряжение, В	Номинальная ёмкость, мкФ				
	К50–7	К50–35	К50–18	К10–17	К73–17
1	2	3	4	5	6
6,3		20; 30; 50; 100; 200; 500	220000		
10		10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000	100000		
16		5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000	22000 68000 100000		

Таблица 1.2 – Продолжение

1	2	3	4	5	6
25		2; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000	15000 33000 100000		
50		2; 5; 10; 20; 30; 50; 100; 200; 500; 1000; 2000	4700 10000 15000 22000	0,001 0,01 0,022 0,056	
63					0,22; 0,03; 0,47; 0,68; 1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7
100		0,5; 1; 2,5; 10; 20; 30; 50	2200 4700 10000		
160	2; 50; 100; 200; 500	1,2; 5; 10; 20			1,5; 2,2
250	10; 20; 50; 100; 200		1000 4700		0,047; 0,068; 0,1; 0,15; 0,22; 0,33; 0,47

Задание 2. Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе по постоянному току

Исходные данные: стабилизированная схема усилительного каскада на биполярном транзисторе, тип транзистора, напряжение $U_{кз}$ и ток $I_{к}$ в рабочей точке при температуре окружающей среды $T_o = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, напряжение источника питания E . Диапазон изменения температуры окружающей среды принят от $T_{c.min} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{c.max} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Содержание задания

1. Привести заданную стабилизированную схему каскада и описать назначение всех резисторов и работу схемы при изменениях температуры.

2. Используя характеристики и параметры транзистора [6, 7], построить совмещенные статические характеристики транзистора, расположив выходные характеристики в первом квадранте, а входные – в третьем. По заданному напряжению E источника питания и параметрам рабочей точки $U_{кз}$ и $I_{к}$ построить на выходных характеристиках линию нагрузки по постоянной составляющей, пренебрегая в резисторах R_4 и R_5 токами базы,

а во втором квадранте – соответствующую этим допущениям динамическую характеристику прямой передачи по току. На характеристике прямой передачи по току и на входной характеристике показать положение рабочей точки. Рассчитать допустимую для заданной максимальной температуры окружающей среды мощность рассеивания на коллекторе $P_{k\cdot max}$ и на выходных характеристиках показать рабочую область, ограниченную максимально допустимыми параметрами: постоянным током коллектора – $I_{k\cdot max}$, постоянным напряжением коллектор-эмиттера – $U_{кэ\ max}$, мощностью рассеивания транзистора – $P_{k\cdot max}$.

3. Определить по статическим характеристикам в рабочей точке ток базы I_b , напряжение $U_{эб}$ и интегральный коэффициент передачи по току базы β . Рассчитать сопротивления резисторов заданной стабилизированной схемы. Определить параметры обобщенной схемы усилительного каскада, эквивалентной заданной стабилизированной схеме, и величину коэффициента температурной нестабильности для нее. Рассчитать сопротивления резисторов $R_{кн}$ и $R_{бн}$ нестабилизированной схемы при том же положении рабочей точки.

4. Рассчитать для заданного диапазона изменения температуры среды температурные зависимости коэффициентов передачи по току эмиттера $h_{21б}$ и по току базы $h_{21э}$, напряжения $U_{эб}$, тока $I_{кб0}$, токов коллектора I_k и базы I_b для нестабилизированной и заданной стабилизированной схемы. По данным расчета построить и проанализировать графики зависимостей.

Методические указания к выполнению задания

В данном задании проводится анализ влияния температуры на ток коллектора биполярного транзистора при включении с общим эмиттером (ОЭ) в схеме усилительного каскада. Рассматривается только цепь питания транзистора по постоянному току, осуществляемая на практике от одного источника, включенного в цепь коллектор–эмиттер транзистора. Схема с комбинированной стабилизацией положения рабочей точки показана на рис.2.1.

Построение линии нагрузки усилительного каскада по постоянному току по заданным параметрам рабочей точки – напряжению коллектор-эмиттер $U_{кэ}$, току коллектора I_k транзистора и напряжению источника питания E дает возможность определить ток короткого замыкания $I_{кз}$ каскада и, следовательно, приближенно сумму сопротивлений резисторов R_{Σ} , включенных в цепь эмиттера и коллектора.

$$R_{\Sigma} = R_3 + R_4 + R_5 = E / I_{кз} . \quad (2.1)$$

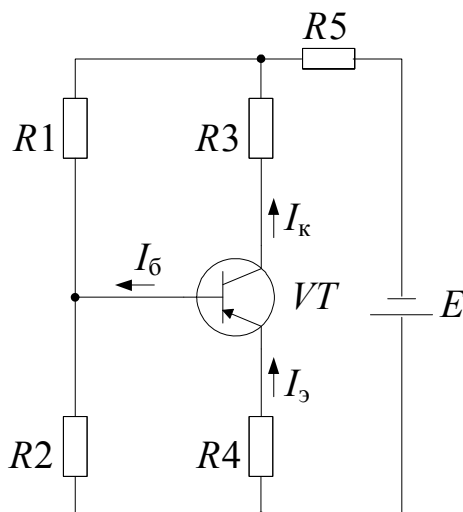


Рисунок 2.1 – Схема усилительного каскада с комбинированной стабилизацией положения рабочей точки

Сопротивление R_4 рассчитывается исходя из ограничения мощности потерь в нем:

$$R_4 = \frac{(0,1 \dots 0,3)E}{I_k + I_b}. \quad (2.2)$$

Тогда

$$R_3 + R_5 = E / I_{кз} - R_4. \quad (2.3)$$

Сопротивления резисторов R_3 и R_5 можно принять равными.

Величины сопротивлений R_3 , R_4 и R_5 необходимо скорректировать в соответствии с ГОСТ 2825-67 (табл. 2.1), после чего следует рассчитать сопротивления резисторов R_1 и R_2 таким образом, чтобы ток коллектора I_k в рабочей точке при температуре был с допустимой точностью (5 %) равен заданному.

Таблица 2.1 – Ряд номинальных сопротивлений постоянных резисторов при допустимых отклонениях $\pm 5\%$ (Омы, десятки Ом, сотни Ом, килоОмы, десятки килоОм, сотни килоОм, мегаОмы)

1.0	1.6	2.7	4.3	6.8
1.1	1.8	3.0	4.7	7.5
1.2	2.0	3.3	5.1	8.2
1.3	2.2	3.6	5.6	9.1
1.5	2.4	3.9	6.2	

Этот расчет следует выполнить на основе уравнений электрического равновесия в контурах схемы:

$$E = I_b R_2 + (I_b + I_b)R_1 + (I_b + I_b + I_k)R_5; \quad (2.4)$$

$$I_d R_2 = U_{36} + I_3 R_4, \quad (2.5)$$

где I_d – ток резистора R_2 (ток базового делителя), который можно принять равным $(5 \div 10) I_6$.

Величины сопротивлений резисторов можно скорректировать по ГОСТ 2825-67 (см. табл. 2.1).

Для определения интегрального коэффициента передачи тока базы $h_{21э}$ воспользуемся выражением:

$$I_k = h_{21э} I_6 + (h_{21э} + 1) I_{кб0}, \quad (2.6)$$

где $I_{кб0}$ – обратный ток коллектора, который следует взять из справочника [6, 7].

$$h_{21э} = \frac{I_k - I_{кб0}}{I_6 + I_{кб0}}. \quad (2.7)$$

Коэффициент передачи тока эмиттера $h_{21б}$:

$$h_{21б} = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}}. \quad (2.8)$$

Затем рассчитываются параметры обобщенной схемы усилительного каскада согласно рис. 2.2, эквивалентной заданной стабилизированной схеме.

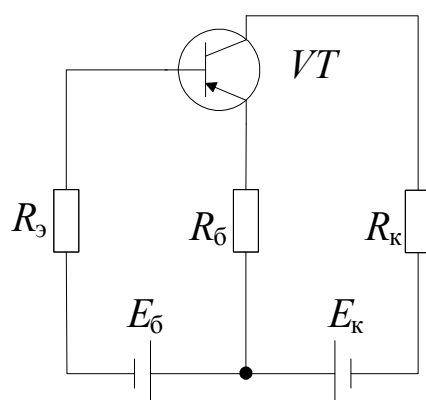


Рисунок 2.2 – Обобщенная схема усилительного каскада

Условием эквивалентности этих схем является равенство сопротивлений и напряжений между каждой парой одноименных выводов схем при отключенных транзисторах. Выражения для определения сопротивлений резисторов R_k , R_3 и R_6 и напряжений источников E_6 и E_k эквивалентной обобщенной схемы на рис. 2.2 через сопротивления резисторов и напряжение источника схемы на рис. 2.1 имеют вид:

$$R_3 = R_4 + \frac{R_2 R_5}{R_1 + R_2 + R_5}; \quad (2.9)$$

$$R_{\delta} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_5}; \quad (2.10)$$

$$R_{\kappa} = R_3 + \frac{R_1 R_5}{R_1 + R_2 + R_5}; \quad (2.11)$$

$$E_{\kappa} = E \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_5}; \quad (2.12)$$

$$E_{\delta} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_5}. \quad (2.13)$$

Выражения для токов имеют вид:

ток коллектора I_{κ}

$$I_{\kappa} = \frac{1}{1 + h_{21\delta} \frac{R_3}{R_3 + R_{\delta}}} \left[h_{21\delta} \frac{E_{\delta} - U_{\delta\delta}}{R_3 + R_{\delta}} + (1 + h_{21\delta}) I_{\kappa\delta 0} \right]; \quad (2.14)$$

ток базы I_{δ}

$$I_{\delta} = \frac{E_{\delta} - U_{\delta\delta}}{R_{\delta}} - \frac{R_3}{R_3 + R_{\delta}} I_{\kappa}. \quad (2.15)$$

Коэффициент температурной нестабильности S определяется по выражению

$$S = \frac{h_{21\delta}}{1 + h_{21\delta} \frac{R_3}{R_3 + R_{\delta}}}. \quad (2.16)$$

Для оценки эффективности температурной стабилизации следует рассчитать нестабилизированную схему усилительного каскада, приведенную на рис.2.3.

В данной схеме сопротивления резисторов определяются:

$$R_{\kappa\delta} = \frac{E}{I_{\kappa\delta}}; \quad (2.17)$$

$$R_{\delta\delta} = \frac{E - U_{\delta\delta}}{I_{\delta}}. \quad (2.18)$$

Токи рассчитываются по следующим выражениям:

$$I_{\delta\delta} = \frac{E - U_{\delta\delta}}{R_{\delta\delta}}; \quad (2.19)$$

$$I_{\kappa\delta} = h_{21\delta} \frac{E - U_{\delta\delta}}{R_{\delta\delta}} + (h_{21\delta} + 1) I_{\kappa\delta 0}, \quad (2.20)$$

а коэффициент температурной нестабильности

$$S \approx h_{21э}. \quad (2.21)$$

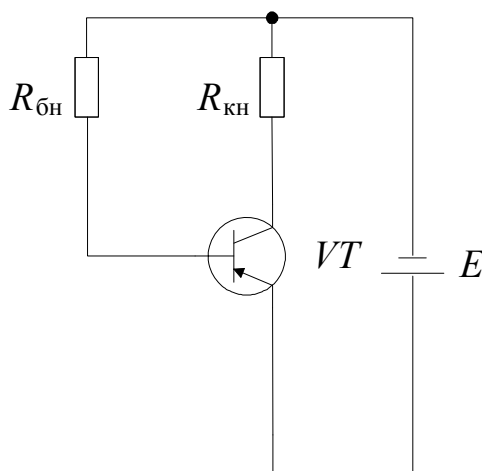


Рисунок 2.3 – Нестабилизированная схема усилительного каскада

Для расчета температурных зависимостей следует воспользоваться выражениями:

$$U_{эб} = U_{эб}(T_0) - 0,002(T - T_0); \quad (2.22)$$

$$h_{21э}(T) = \frac{h_{21б}(T)}{1 - h_{21б}(T)}; \quad (2.23)$$

$$h_{21б}(T) = h_{21б}(T_0) + 0,0002(T - T_0); \quad (2.24)$$

$$I_{кб0}(T) = I_{кб0}(T_0)e^{\alpha_i(T-T_0)}, \quad (2.25)$$

где α_i – температурный коэффициент, равный 0,09 1 / К для германиевых транзисторов и 0,13 1 / К – для кремниевых.

Температурные зависимости соответствующих токов рассчитываются по выражениям (2.14), (2.15), (2.19), (2.20). Расчет температурных зависимостей в стабилизированной и нестабилизированной схемах производится в заданном диапазоне изменения температуры окружающей среды с шагом 10 °С. Расчетные данные сводятся в таблицу. Далее по этим данным строятся указанные зависимости на миллиметровой бумаге. Токи коллектора и токи базы для стабилизированной и нестабилизированной схем обязательно следует построить в общих системах координат.

Далее на рисунке, где ранее построены совмещенные статические характеристики, на линию нагрузки по постоянному току следует нанести точки, соответствующие токам коллектора при $T = -20$ °С; $T = +20$ °С; $T = +40$ °С и оценить работоспособность нестабилизированной и стабилизированной схем при максимальной и минимальной температурах окру-

жающей среды. Если в стабилизированной схеме изменения рабочей точки окажутся недопустимыми, то следует скорректировать соответствующие параметры схемы, учитывая, что в классе усиления A допускается изменение постоянной составляющей тока коллектора до 50 %.

Задание 3. Расчет инвертирующего и неинвертирующего усилителей

Исходные данные: тип схемы усилителя постоянного тока (УПТ) – инвертирующий (рис. 3.1) или неинвертирующий (рис. 3.2), коэффициент усиления K_u , тип ОУ и его собственные параметры, приведенные в справочнике [9].

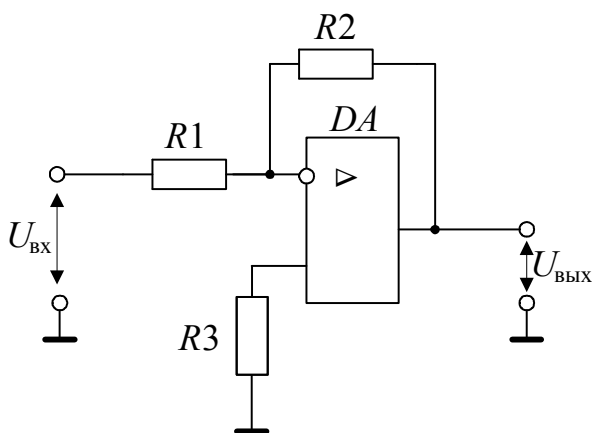


Рисунок 3.1 – Инвертирующий УПТ

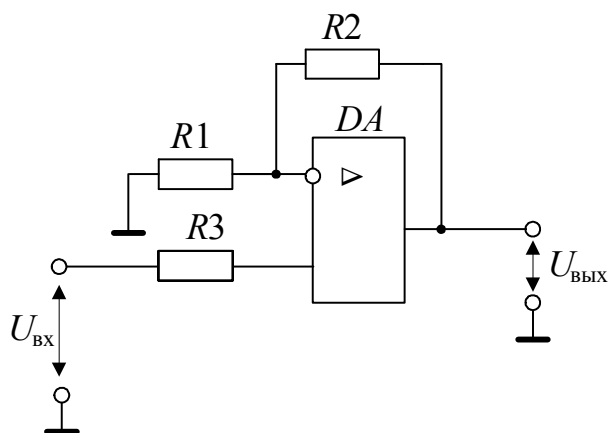


Рисунок 3.2 – Неинвертирующий УПТ

Содержание задания

1. Привести заданную схему усилителя (см. схемы на рис. 3.1, 3.2).
2. Пояснить принцип работы устройства и описать назначение всех его элементов.
3. Записать параметры ОУ, взятые из справочника.
4. Рассчитать сопротивления резисторов R_1 , R_2 , R_3 .
5. Рассчитать входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивления ОУ.
6. Построить передаточную характеристику усилителя.
7. Найти значение границы линейного участка $U_{вх}$ амплитудной характеристики усилителя, охваченного цепью отрицательной обратной связи.

Методические указания к выполнению задания

Перед выполнением задания следует изучить литературу [1, 2 основ.], [9, справ.]. Далее можно использовать приведенную ниже последовательность расчета.

Выбирается значение сопротивления R_1 в пределах (10–20) кОм. Затем рассчитываются значения сопротивлений R_2 , R_3 :

для инвертирующего усилителя

$$R_2 = k_u R_1, \quad (3.1)$$

для неинвертирующего усилителя

$$R_2 = (k_u - 1)R_1, \quad (3.2)$$

для усилителей обоих типов

$$R_3 = R_1 R_2 / (R_1 + R_2). \quad (3.3)$$

Входное сопротивление $R_{вх}$ усилителя выбирается из соотношения:

для инвертирующего

$$R_{вх} \approx R_1; \quad (3.4)$$

для неинвертирующего

$$R_{вх} \approx R_{вх.оу} \left(1 + k_{уоу} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + R_3. \quad (3.5)$$

Выходное сопротивление $R_{вых}$ усилителя:

для неинвертирующего

$$R_{вых} = R_{вых.оу} \frac{1}{1 + k_{уоу} \frac{R_1}{R_1 + R_2}}; \quad (3.6)$$

для инвертирующего

$$R_{вых} = R_{вых.оу} \left(1 / \left(1 + k_{уоу} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \right). \quad (3.7)$$

Пример передаточной характеристики приведен на рис. 2.4 в [1].

При этом верхняя граница линейного участка определяется из соотношения

$$U_{\max} = U_{вых \max} / k_u. \quad (3.8)$$

Задание 4. Расчет схем одновибратора и мультивибратора на ОУ

Исходные данные: тип схемы (мультивибратор или одновибратор), длительность импульса $t_{и}$, длительность фронта $t_{ф}$, длительность среза $t_{с}$, амплитуда выходного импульса $U_{т \text{ вых}}$, скорость нарастания импульса $v_{и}$ (В/с), сопротивление нагрузки.

Содержание задания

1. Привести заданную схему мультивибратора или одновибратора. (варианты схем даны на рисунке 4.1, 4.2).
2. Пояснить принцип действия приведенного устройства и назначение всех элементов схемы, используя временные диаграммы.
3. Выбрать тип ОУ из табл. 5 и записать его параметры.
4. Рассчитать сопротивления резисторов и емкости конденсаторов времязадающих цепей.
5. Рассчитать частоту повторения импульсов мультивибратора или время восстановления состояния одновибратора.

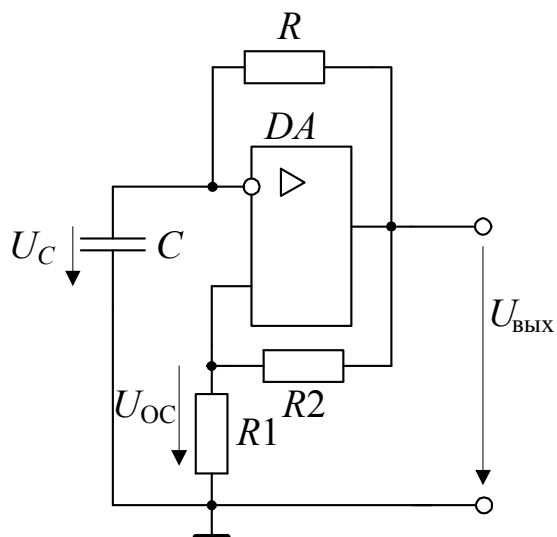


Рисунок 4.1 – Мультивибратор

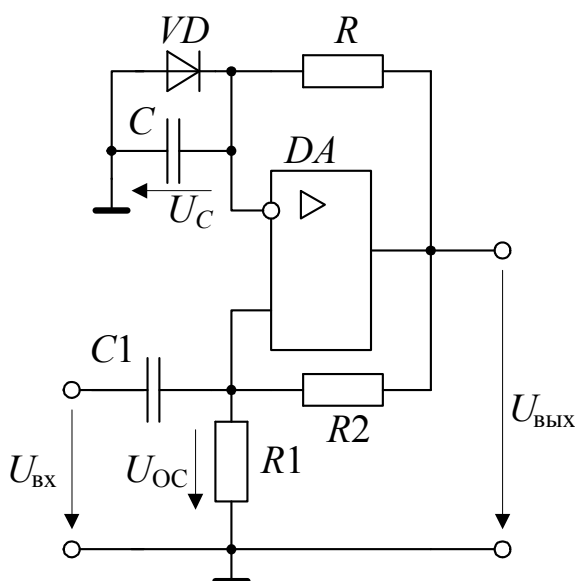


Рисунок 4.2 – Одновибратор

Методические указания к выполнению задания

Для выполнения задания необходимо изучить теоретический материал, изложенный в [1, 2 основ.]. Рекомендуется придерживаться указанной последовательности расчета. Далее расчет дается отдельно для мультивибратора и одновибратора.

Мультивибратор

По заданной величине $v_{и}$ и $U_{m \text{ вых}}$ выбирается тип ОУ и выписываются из таблицы его параметры. Подходящим является ОУ, у которого выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ больше требуемого $U_{m \text{ вых}}$.

Рассчитываются следующие показатели:

допустимое значение суммы сопротивлений $(R_1 + R_2)$ из условия ограничения выходного тока ОУ:

$$R_1 + R_2 = (1,5 \div 2,5) \frac{E_{1,2}}{\left(I_n - \frac{E_{1,2}}{R}\right)}, \quad (4.1)$$

где I_n – максимально допустимый выходной ток используемой схемы;

отношение $\theta = R_1 / (R_1 + R_2)$ из условия допустимого значения дифференциального напряжения на входе схемы ОУ:

$$\theta = (0,5 \div 0,75) \frac{U_{\text{вхдиф}}}{2E_{1,2}} \quad \text{или} \quad \theta \approx 0,632U_{\text{тввых}}; \quad (4.2)$$

сопротивления резисторов R_1, R_2 определяем по найденным значениям суммы $(R_1 + R_2)$ и θ :

$$R_1 = (R_1 + R_2)\theta, \quad R_2 = R_1 \left(\frac{1 - \theta}{\theta} \right), \quad (4.3)$$

а значение сопротивления резистора R из выражения для длительности выходного импульса:

$$t_u = RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right), \quad (4.4)$$

где C – значение емкости времязадающего конденсатора при значениях $t_u < 100$ мкс может быть выбрано в диапазоне 100–500 пФ.

Частота генерации определяется из выражения :

$$f = \frac{1}{2t_u}. \quad (4.5)$$

Далее следует построить временные диаграммы выходного напряжения $U_{\text{вых}}(t)$ и напряжения на емкости $U_c(t)$.

Одновибратор

Последовательность расчета та же, что и мультивибратора (соотношения (5.1) – (5.3)), а при расчете сопротивления резистора R используется соотношение

$$t_u = RC \ln\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right). \quad (4.6)$$

Время восстановления $t_{\text{вос}}$ устойчивого состояния определяется из соотношения

$$t_{\text{сос}} = RC \ln \left(\frac{2R_1 + R_2}{R_1 + R_2} \right), \quad (4.7)$$

причем значение емкости C принимается равным 100–200 пФ.

Временные диаграммы строятся для выходного напряжения $U_{\text{вых}}(t)$, напряжения на конденсаторе $U_c(t)$ и входного (пускового) импульса $U_{\text{вх}}(t)$.

Таблица 4.1 – Параметры интегральных операционных усилителей, используемые в расчете мультивибратора и одновибратора

Тип	$K_{и\text{ оу}}$	$U_{\text{вых}},$ В	$R_{\text{вх. оу}},$ Мом	$E_{1,2},$ В	$R_{\text{н. доп}},$ кОм	$I_{\text{н}},$ мА	$U_{\text{вх. диф}},$ В	$R_{\text{вых. оу}},$ Ом
140У Д1Б	2000	+8; -6,3	0,004	+12,6	5	1,6	+1,5	н.д.
К140 УД6 А	30000	+1,0	1	+15	1	10	+30	150
153У Д1	20000	+10	0,2	+15	2	5	+5	200

Задание 5. Синтез логических схем

Содержание задания

1. Для заданной функции составить таблицу истинности, обозначив безразличный набор звездочками.
2. Произвести минимизацию заданной функции с помощью карты Карно по единицам и по нулям.
3. Произвести синтез цифровых схем реализации заданной логической функции, минимизированной по единицам и по нулям в базисах И-НЕ, и И-ИЛИ-НЕ, используя интегральные схемы (ИС) серии К155.
4. Выбрать оптимальную структуру комбинационной схемы.

Методические указания к выполнению задания

В типовом задании исходная логическая функция F , определяющая алгоритм работы цифрового (логического) устройства, задается в числовой (символической) форме в виде суммы соответствующих минтермов

этой функции $F = \Sigma(m_i)$, при этом указывают минтермы, определяемые безразличным набором логической переменной, в виде $F_{\text{БН}} = \Sigma(m_j)$.

Таблица истинности определяет алгоритм работы создаваемой цифровой схемы. От табличного значения функции следует перейти к аналитической записи, когда каждому набору переменных ставится в соответствие минтерм. *Минтерм* – это конъюнкция (логическая операция умножения «и») переменных, которые входят либо в прямом виде, если значение данной переменной в наборе равно единице ($x_i = 1$), либо в инверсном, если значение переменной равно нулю ($x_i = 0$). Логическое представление функции F является суммой минтермов, для которых $f_i = 1$. Такое представление функции называется ее совершенной дизъюнктивной нормальной формой (СДНФ). Число минтермов равно 2^n , n – число переменных.

Таблица истинности для функции четырех переменных $F = \Sigma(0;1;4;5;10;11)$ задается в виде:

№	x_1	x_2	x_3	x_4	F
0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	1
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	0
14	1	1	1	0	0
15	1	1	1	1	0

Для этого примера логическая функция в СДНФ имеет вид:

$$F = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot x_4 + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot \overline{x_4} + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot x_4 + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{x_4} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} \cdot x_4, \quad (5.1)$$

Основным этапом синтеза комбинационной схемы является минимизация заданной логической функции с целью получения ее наиболее простого алгебраического выражения, т.е. минимальной дизъюнктивной нормальной формы (МДНФ). При числе входных логических переменных до

(5...6) наиболее эффективным методом является минимизация логических функций с использованием карт Карно (карт минтермов).

Число клеток N карты Карно равно числу всех возможных комбинаций n логических переменных, т.е. $N=2^n$, а каждая клетка карты Карно соответствует определенному минтерму (рис. 5.1).

Метод карт Карно позволяет выявить и устранить избыточность в записи функции. Упрощения внутри контуров производят по закону слияния: $x + \bar{x} = 1$.

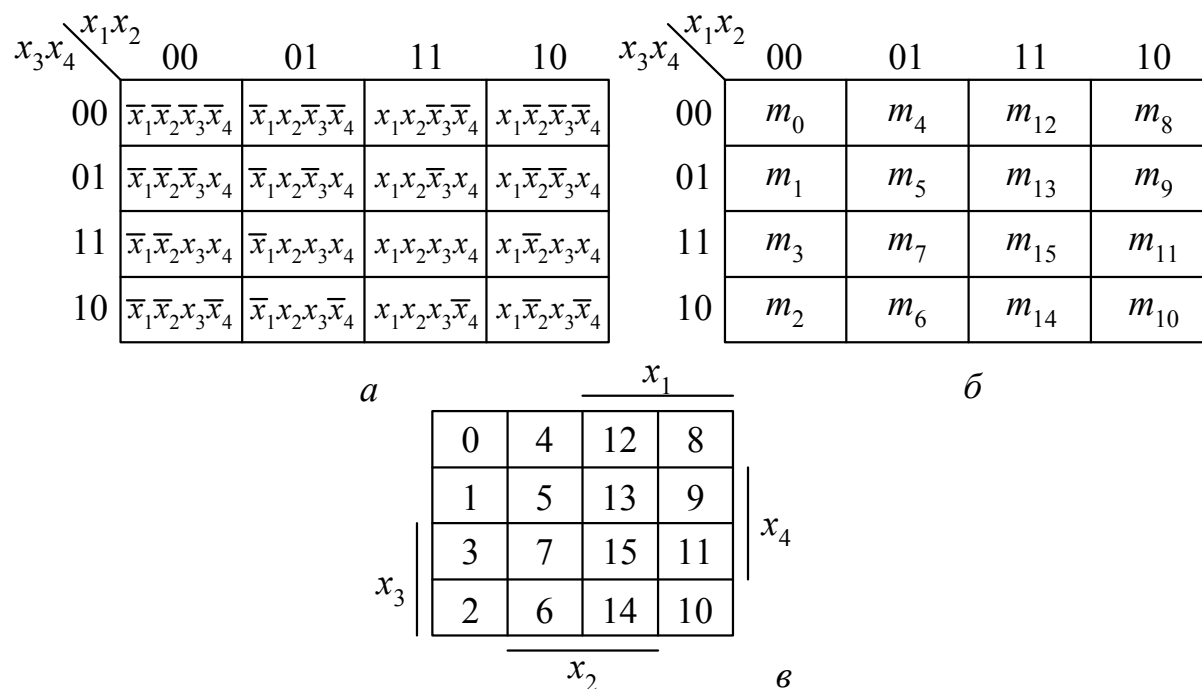


Рисунок 5.1 – Карта Карно для функции четырех переменных

Общие правила минимизации логической функции:

1. Логическая функция представляется в виде таблицы истинности либо в СДНФ.
2. Заполняются единицами соответствующие клетки карты Карно. Аналогичным образом на карте Карно проставляются минтермы безразличных наборов, которые целесообразно обозначить «звездочкой» (*).
3. Определяются независимые минимизирующие контуры, охватывающие все клетки с единичными значениями. При этом в каждый контур должно входить максимально возможное число 2^k смежных клеток ($k = 0, 1, 2, \dots$). «смежных» клеток карты Карно, под которыми понимают такие клетки карты, минтермы которых отличаются значением только одной логической переменной (в одном минтерме она имеет прямое значение x , в другом – инверсное \bar{x}). Применение циклического кода нумерации клеток

карты Карно приводит к тому, что «смежными» является не только соседние клетки карты, но и крайние клетки каждой строки и каждого столбца. Количество контуров должно быть минимальным, и все они должны быть независимыми, то есть отличаться значением хотя бы одного минтерма.

Безразличные наборы логических переменных включаются в минимизирующий контур с присвоением ему единичного (нулевого) значения только в том случае, когда их использование позволяет упростить алгебраическое выражение минимизируемой функции. Минимизирующие контуры могут пересекаться; быть как замкнутыми, так и разомкнутыми, охватывая крайние клетки строк или столбцов, либо четыре угловые клетки карты Карно. Если минтерм не имеет смежных клеток, то контур минимизации охватывает только эту клетку ($k = 0$) и в алгебраическое выражение МДНФ логической функции импликанта включается в виде минтерма.

4. При считывании произведения (импликанты) каждого контура из нее исключаются все переменные, которые в заданном контуре изменяют свое значение.

5. Оптимальный выбор минимизирующих контуров обеспечивает получение МДНФ логической функции.

6. Если на карте Карно единичных клеток значительно больше, чем нулевых, то минимизацию выполняют по нулевым значениям функции, при этом получают инверсное значение исходной функции \bar{F} .

Представим карту Карно (КК) для рассматриваемой функции четырех переменных (рис. 5.2) с безразличным набором $F_{\text{БН}} = \Sigma(13;15)$. Заданная функция состоит из 6 минтермов, в связи с этим на карте Карно ее будут представлять клетки, отмеченные единицами. Минтермы безразличного набора обозначаем «*». Затем на карте определяем соседние минтермы и объединяем их в минимальное количество групп соседних минтермов. В нашем случае таких групп две.

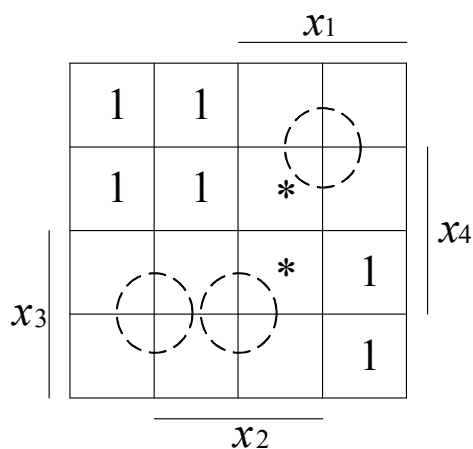


Рисунок 5.2 – Карта Карно для минимизации по единицам

На основании проведенных операций получаем функцию, выраженную в МДНФ:

$$F^1 = \overline{x_1} \cdot \overline{x_3} + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3. \quad (5.2)$$

Функция, выраженная в МДНФ, удобна для реализации в базисе И-ИЛИ-НЕ.

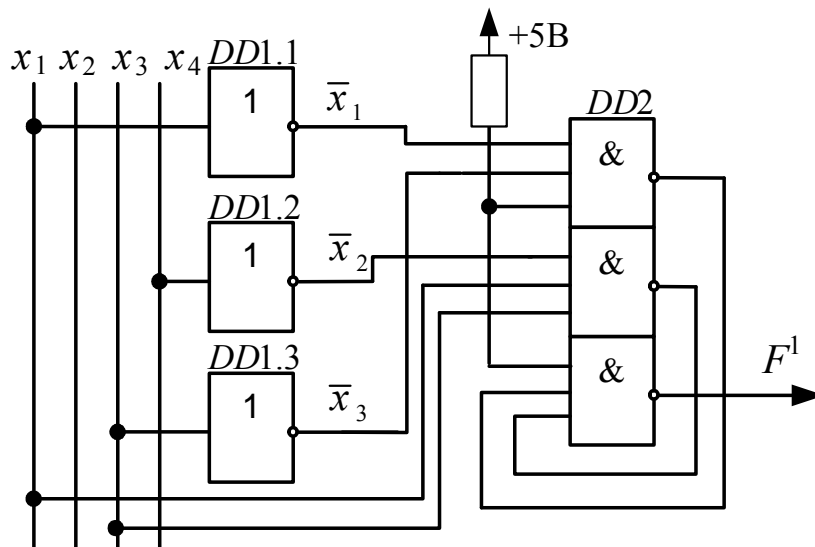
Двойным инвертированием полученного выражения и его преобразованием с помощью законов инверсии:

$$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}; \quad \overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2} \quad (5.3)$$

получаем логическую функцию, преобразованную для реализации в базисе И-НЕ:

$$F^1 = \overline{\overline{\overline{x_1 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}}} = \overline{\overline{\overline{x_1 \cdot x_3} \cdot \overline{\overline{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}}}} = \overline{\overline{\overline{x_1 \cdot x_3}} \cdot \overline{\overline{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}}}. \quad (5.4)$$

Осуществим синтез минимизированной по единицам функции в логическом базисе И-НЕ (рис. 5.3):



DD1 – К155ЛН1, DD2 – К155ЛА4

Рисунок 5.3 – Логическая функция F^1 , синтезированная в базисе И-НЕ

При схемной реализации в базисе И-НЕ свободные информационные входы логических элементов с целью повышения помехоустойчивости подключаются к источнику питания через резистор сопротивлением 1 кОм.

Для получения наиболее простого выражения функции следует включать возможно большее число клеток и выбирать такой вариант, чтобы общее число объединенных и необъединенных клеток было минимально. При этом одна и та же клетка может входить в несколько объединений. Выбирая полученный вариант из различных МДНФ, добиваются наилучшей схемной реализации.

Произведем минимизацию логической функции по нулям (рис. 5.4):

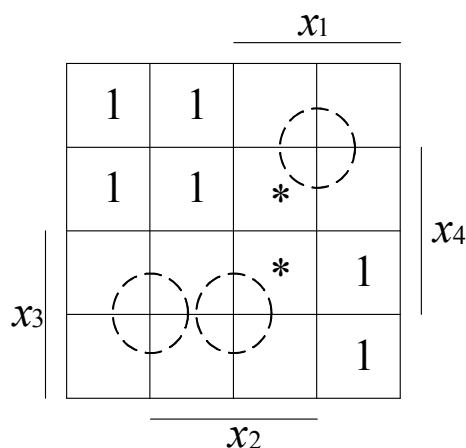


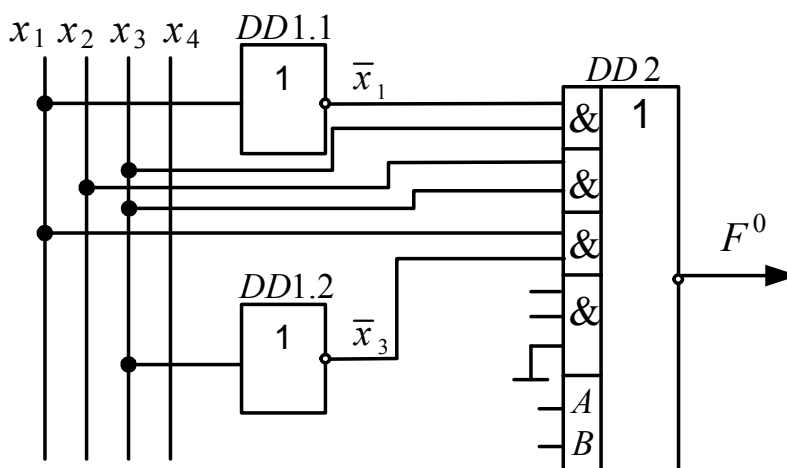
Рисунок 5.4 – Карта Карно для минимизации по нулям рассматриваемой логической функции четырех переменных

На основании проведенных операций минимизации получаем инверсное значение функции, выраженной в МДНФ:

$$\overline{F^0} = x_1 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_3 + x_2 \cdot x_3; \quad (5.5)$$

$$F^0 = \overline{x_1 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_3 + x_2 \cdot x_3}. \quad (5.6)$$

Произведем синтез минимизированной по нулям функции в логическом базисе И-ИЛИ-НЕ (рис. 5.5):



DD1 – К155ЛН1, DD2 – К155ЛР3

Рисунок 5.5 – Логическая функция F^0 , синтезированная в базисе И-ИЛИ-НЕ

При схемной реализации минимизированных логических функций в базисе И-ИЛИ-НЕ необходимо хотя бы один информационный вход не используемого элемента И заземлить, в противном случае на его выходе будет постоянно уровень логической единицы, а в целом элемент И-ИЛИ-

НЕ – в нулевом состоянии независимо от информационных сигналов на других входах.

Необходимо обратить внимание на то, что цифровые микросхемы И-ИЛИ-НЕ часто имеют дополнительный вход расширения по ИЛИ (входы А, В микросхем К155ЛР1, К155ЛР3, К155ЛР4) для подключения входов микросхем К155ЛД1, К155ЛД3, что существенно расширяет функциональные возможности этих микросхем, при этом неиспользуемые входы расширения по ИЛИ микросхем И-ИЛИ-НЕ остаются свободными в отличие от входов элементов И.

Двойным инвертированием полученного выражения и его преобразованием с помощью законов инверсии получаем логическую функцию, преобразованную для реализации в базисе И-НЕ:

$$F^0 = \overline{x_1 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_3 + x_2 \cdot x_3} = \overline{x_1 \cdot x_3} \cdot \overline{x_1 \cdot x_3} \cdot \overline{x_2 \cdot x_3}. \quad (5.7)$$

Аналогично производится схемная реализация функции $F1$ в базисе И-ИЛИ-НЕ и функции $F0$ в базисе И-НЕ. При схемной реализации в базисе И-НЕ свободные информационные входы логических элементов с целью повышения помехоустойчивости подключаются к источнику питания через резистор сопротивлением 1 кОм.

При схемной реализации минимизированных логических функций в базисе И-ИЛИ-НЕ необходимо хотя бы один информационный вход неиспользуемого элемента И заземлить, в противном случае на его выходе будет постоянно уровень логической единицы, а в целом элемент И-ИЛИ-НЕ – в нулевом состоянии независимо от информационных сигналов на других входах. Необходимо обратить внимание на то, что цифровые микросхемы И-ИЛИ-НЕ часто имеют дополнительный вход расширения по ИЛИ (входы А, В микросхем К155ЛР1, К155ЛР3, К155ЛР4) для подключения входов микросхем К155ЛД1, К155ЛД3, что существенно расширяет функциональные возможности этих микросхем, при этом неиспользуемые входы расширения по ИЛИ микросхем И-ИЛИ-НЕ остаются свободными в отличие от входов элементов И.

После произведенных действий оцениваются варианты реализаций и делается *вывод* о том, какой именно базис является оптимальным. То есть, в каком случае реализация производится с меньшим количеством микросхем.

Для *аппаратной реализации* необходимо выбрать тип микросхемы. Обычно используют ТТЛ логику, в частности серию К155, базовые логические элементы которой приведены на рис. 5.6. Серия отличается хорошими электрическими параметрами, удобна в применении, имеет достаточно высокий уровень интеграции и функциональное разнообразие.

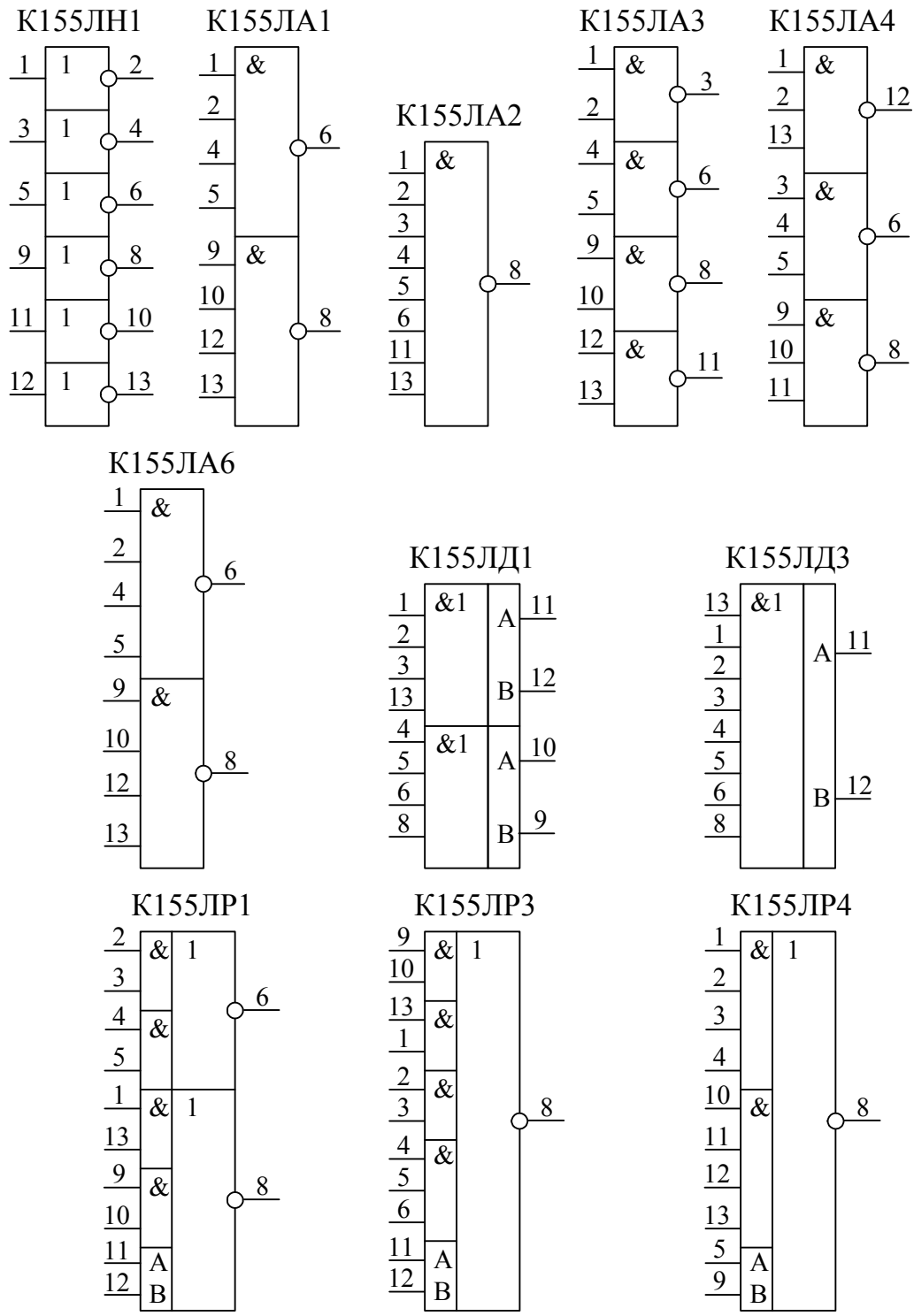


Рисунок 5.6 – Базовые логические элементы серии К155

Задание 6. Мультивибраторы на логической базе И-НЕ

Исходные данные: схема мультивибратора, тип микросхемы и частота колебаний мультивибратора.

Содержание задания

1. Спроектировать автоколебательный мультивибратор на интегральных схемах.
2. Привести схему мультивибратора и описать ее работу с использованием временных диаграмм.
3. Определить длительность импульса выходного напряжения.
4. Рассчитать емкости конденсаторов.
5. Преобразовать спроектированную схему мультивибратора в ждущий режим.
6. Привести временные диаграммы и пояснить работу схемы.
7. Определить длительность формируемого на выходе импульса.

Методические указания к выполнению задания

Мультивибраторы предназначены для формирования импульсных сигналов, близких по форме к прямоугольным, и в схемном отношении представляют собой двухкаскадные импульсные усилители, работающие в ключевом режиме и охваченные цепями положительной обратной связи (ПОС). Эти устройства либо не имеют состояний устойчивого равновесия (автоколебательные мультивибраторы), либо обладают одним устойчивым состоянием, а второе состояние является неустойчивым (ждущие мультивибраторы).

В настоящее время широко применяются мультивибраторы, выполненные в виде гибридных ИМС, на основе логических ИМС. Принципиальные схемы таких мультивибраторов отличаются от мультивибраторов, выполненных на дискретных транзисторах, наличием элементов, улучшающих свойства мультивибраторов. Такие элементы выполняются в едином технологическом цикле со схемой и не влияют на стоимость или габариты микросхемы. Перед выполнением задания следует изучить соответствующие разделы рекомендованной литературы. Расчетные соотношения и временные диаграммы приведены в [1].

Автоколебательный мультивибратор на логических элементах изображен на рис.6.1.

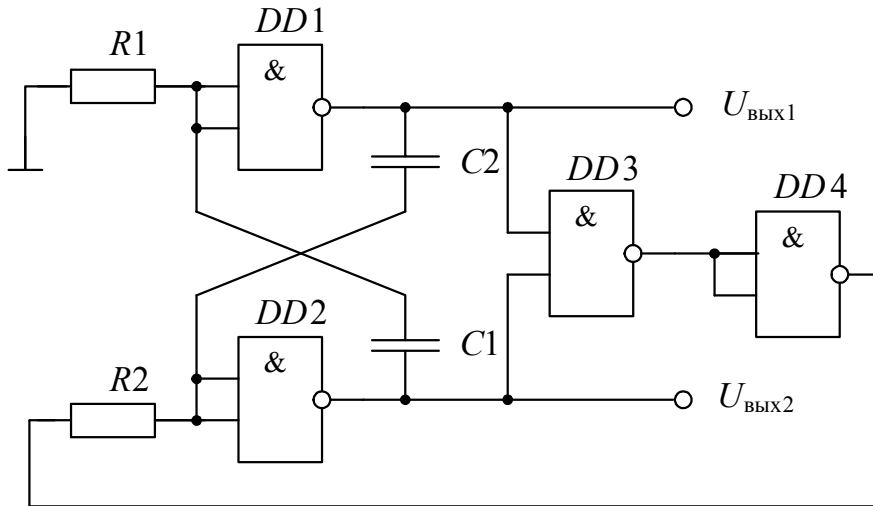


Рисунок 6.1 – Автоколебательный мультивибратор

Схема представляет собой два усилителя, охваченные перекрестными, положительными обратными связями через времязадающие RC -цепи. Скачок напряжения на выходе, например, первого логического элемента $DD1$ через конденсатор передается на вход второго логического элемента $DD2$, устанавливая на его выходе ноль. При этом конденсатор $C1$ разряжается до нуля, восстанавливая свое исходное состояние, а $C2$ заряжается через резистор $R2$. При этом квазиустойчивое состояние схемы сохраняется до тех пор, пока уменьшающийся из-за заряда конденсатора $C2$ ток не приведет к уменьшению напряжения на входе $DD2$ до порогового значения. С этого момента схема переключается в другое квазиустойчивое состояние. Для исключения «жесткого» запуска мультивибратора, при котором оба логических элемента могут иметь низкий уровень напряжения на выходе, в схему включаются $DD3$ и $DD4$.

Длительность импульса выходного напряжения определяется как

$$t_u = (R_1 + R'_{\text{вых}})C_1 \ln \frac{U_{\text{вых}}^1 - U_{\text{вых}}^o + U_{R1}}{U_{\text{пор.сх}}}. \quad (6.1)$$

Длительность паузы между соседними выходными импульсами напряжения

$$t_n = (R_2 + R'_{\text{вых}})C_2 \ln \frac{U_{\text{вых}}^1 - U_{\text{вых}}^o + U_{R2}}{U_{\text{пор.сх}}}, \quad (6.2)$$

где U_{R1}, U_{R2} – падения напряжения на резисторах R_1, R_2 от протекания входного тока микросхемы при низком уровне входного напряжения:

$$U_{R1} = I_{\text{вх}}^o R_1; U_{R2} = I_{\text{вх}}^o R_2, \quad (6.3)$$

где R'_{ex} – входное сопротивление микросхемы на высоком уровне выходного напряжения.

Сопротивления резисторов $R_1=R_2=R$ выбирают равными, руководствуясь следующими неравенствами: $R \gg R'_{\text{вых}}$; $R < R_{\text{max}}$, где $R'_{\text{вых}}$, R_{max} – параметры логических схем.

Автоколебательный мультивибратор может быть преобразован в схему ждущего мультивибратора путем исключения одной времязадающей цепи и введением дополнительных элементов, обеспечивающих устойчивый режим работы. Для переключения схемы в квазистационарное состояние необходим внешний запускающий импульс $U_{\text{зап}}$ определенной амплитуды и длительности. Процессы генерирования импульсов аналогичны процессам в автоколебательном мультивибраторе. Преобразованная схема приведена на рис. 6.2, а.

Длительность выходного импульса определяется как:

$$t_u = RC \ln \frac{U_{\text{вых}}^1 - U_{\text{вых}}^o + U_R}{U_{\text{пор.сх}}}, \quad (6.4)$$

где $U_R = I_{\text{ex}}^o R$.

Более стабильно работают мультивибраторы с элементами задержки, вынесенными из цепи положительной обратной связи (рис.6.2, б).

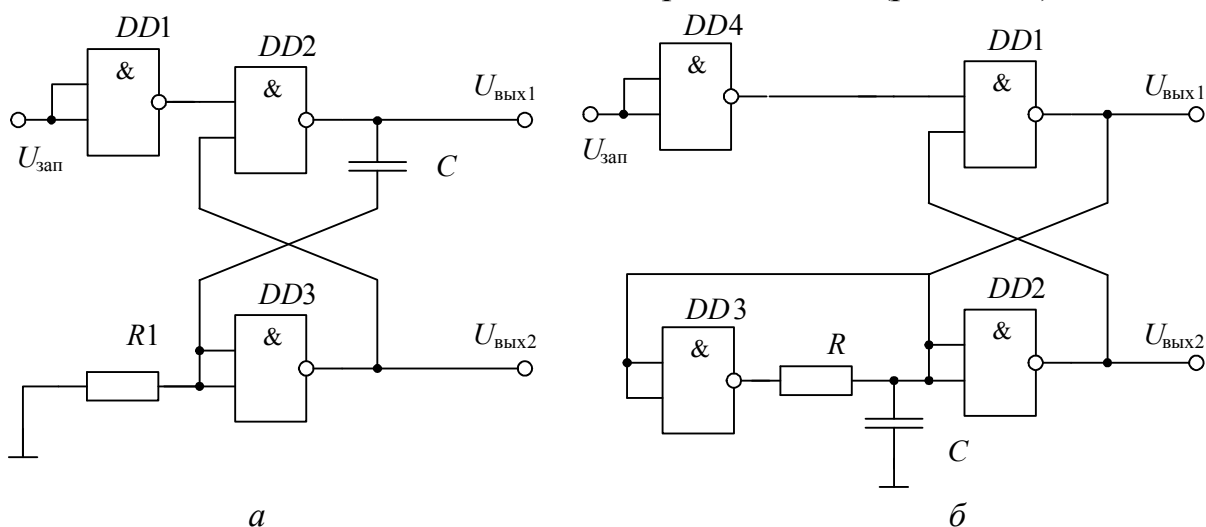


Рисунок 6.2 – Ждущий мультивибратор (а); мультивибратор с элементами задержки (б)

Длительность выходного импульса для этой схемы определяется из соотношения:

$$t_u \approx (R + R'_{\text{вых}})C \ln \frac{U_{\text{вых}}^1}{U_{\text{пор.сх}}}. \quad (6.5)$$

Задание 7. Расчет усилителя напряжения

Исходные данные: схема усилительного каскада, тип транзистора, величины всех элементов схемы, внутреннее сопротивление источника сигнала R_{Γ} . Назначение каскада – предварительное усиление.

Содержание задания

1. Привести заданную схему усилительного каскада и описать назначение всех элементов схемы.
2. Составить эквивалентную схему усилительного каскада в области средних частот и определить коэффициент усиления K_{U0} .
3. Составить эквивалентную схему усилительного каскада в области низших частот и рассчитать зависимость коэффициента от частоты.
4. Составить эквивалентную схему усилительного каскада в области высших частот и рассчитать зависимость коэффициента от частоты.
5. Построить АЧХ усилительного каскада и проанализировать ее. Определить рабочий частотный диапазон усилительного каскада, если $M_{Н}=1,5$ дБ; $M_{В}=1$ дБ.
6. Указать, какие элементы усилительного каскада необходимо изменить для уменьшения частотных искажений. Дать объяснение.

Методические указания к выполнению задания

На рис. 7.1 приведена схема усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером, на рис. 7.2 – схема усилительного каскада на полевом транзисторе.

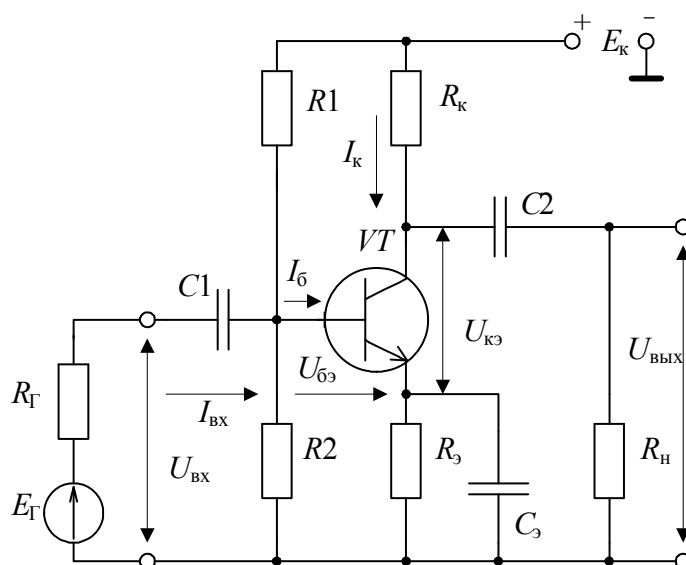


Рисунок 7.1 – Схема усилительного каскада с общим эмиттером

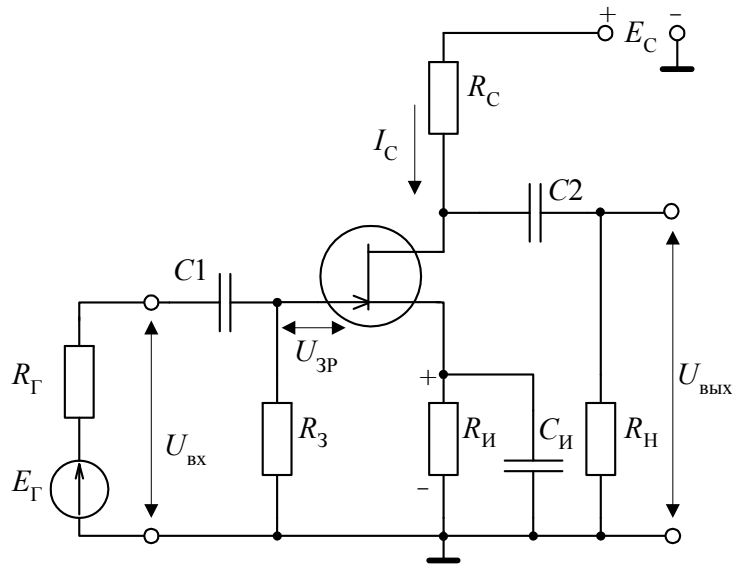


Рисунок 7.2 – Схема усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком

В области средних частот:

Расчет усилительного каскада в области средних частот выполняется с использованием эквивалентной схемы, полученной путем замены транзистора его эквивалентной схемой. Для усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном с ОЭ, это схема с h -параметрами, представленная на рис. 7.3.

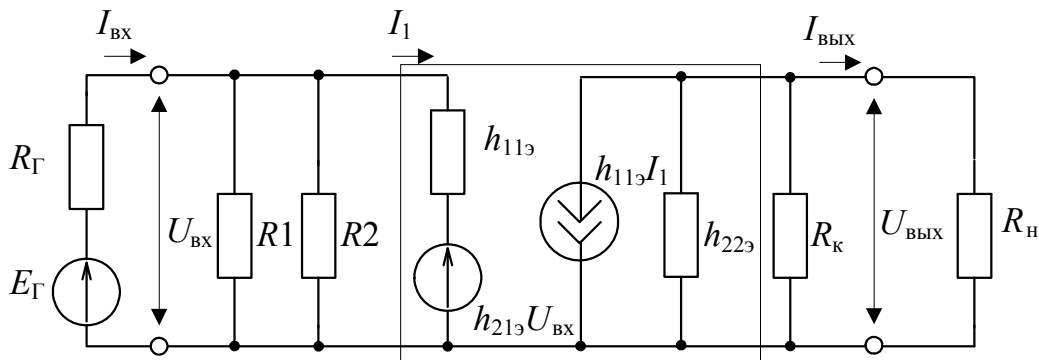


Рисунок 7.3 – Эквивалентная схема каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером в области средних частот

Коэффициент усиления по току определяется как

$$K_I = \frac{I_{\text{ввых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{h_{21э}}{1 + R'_H h_{22э}}, \quad (7.1)$$

где

$$R'_H = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}. \quad (7.2)$$

Входное сопротивление без учета сопротивления базового делителя R_6 :

$$R_{ex} = \frac{U_{ex}}{I_{ex}} = h_{11э} - \frac{h_{12э} h_{21э} R'_H}{1 + h_{22э} R'_H} = \frac{h_{11э} + \Delta h R'_H}{1 + h_{22э} R'_H}, \quad (7.3)$$

где

$$\Delta h_e = h_{11e} \cdot h_{22e} - h_{21e} \cdot h_{12e}. \quad (7.4)$$

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_{U0} = \frac{U_{вых}}{E_{г}} = - \frac{R_{ex}}{R_{ex} + R_{г}} \frac{h_{21э} R'_H}{h_{11э} + \Delta h R'_H}. \quad (7.5)$$

Выходное сопротивление

$$R_{вых} = \frac{U_{вых}}{I_{вых}} = \frac{h_{11э} + R_{г}}{\Delta h + h_{22э} R'_H}. \quad (7.6)$$

Преыдушие расчеты были сделаны без учета влияния базового делителя на входное сопротивление усилительного каскада, а также влияния $R_{г}$, R_K , $R_{вх}$ на коэффициент усиления по току и R_K на выходное сопротивление. С учетом сказанного выше окончательно получаем:

$$R_{вхк} = \frac{R_{ex} R_6}{R_{ex} + R_6}, \quad (7.7)$$

где

$$R_6 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad (7.8)$$

$$K_{Iк} = \frac{R_{г}}{R_{г} + R_{ex}} \frac{h_{21э}}{1 + R'_H h_{22э}} \frac{R_K}{R_K + R'_H}, \quad (7.9)$$

$$R_{выхк} = \frac{R_{вых} R_K}{R_{вых} + R_K}. \quad (7.10)$$

Индекс к означает, что расчет ведется для полного каскада.

Эквивалентная схема усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком представлена на рис. 7.4.

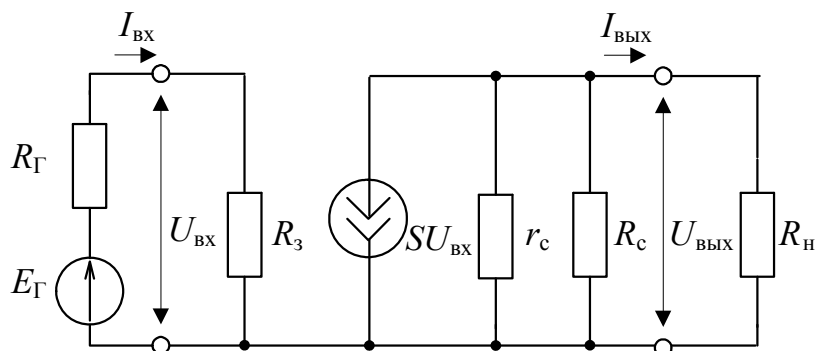


Рисунок 7.4 – Эквивалентная схема каскада на полевом транзисторе с общим истоком в области средних частот

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_{U0} = \frac{U_{\text{ввых}}}{E_{\Gamma}} = \frac{R_3}{R_3 + R_{\Gamma}} S \frac{r_c \cdot R_c \cdot R_{\text{н}}}{r_c \cdot R_c + r_c \cdot R_{\text{н}} + R_c \cdot R_{\text{н}}} \approx S \frac{R_c \cdot R_{\text{н}}}{R_c + R_{\text{н}}}. \quad (7.11)$$

Входное сопротивление

$$R_{\text{вх}} = R_3. \quad (7.12)$$

Выходное сопротивление

$$R_{\text{ввых}} = \frac{U_{\text{ввых}}}{I_{\text{ввых}}} = \frac{r_c \cdot R_c}{r_c + R_c}, \quad (7.13)$$

$$R_{\text{ввых и}} = \frac{1}{S}. \quad (7.14)$$

Коэффициент усиления по току

$$K_I = \frac{I_{\text{ввых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{R_{\Gamma}}{R_3 + R_{\Gamma}} S R_{\Gamma} \frac{R_{\text{ввых}}}{R_{\text{ввых}} + R_{\text{н}}}. \quad (7.15)$$

Расчет АЧХ усилительного каскада (пп.3 и 4) целесообразно выполнить с помощью ЭВМ. Предварительно следует рассчитать постоянные времени всех цепочек каскада, влияющих на величину коэффициента частотных искажений.

В области низших частот:

1. Частотные искажения, вносимые конденсаторами входной цепи C_1 и связи C_2 определяют по соотношению:

$$M_{1,2} = \sqrt{1 + (1 / 2\pi f \tau_n)^2}, \quad (7.16)$$

где f – частота; τ_n – постоянная времени.

Для входной цепи

$$\tau_{1н} = (R_{г} + R_{вх})C_1, \quad (7.17)$$

где $R_{вх}$ – входное сопротивление каскада.

Для конденсатора связи

$$\tau_{2н} = (R_{эн} + R_n)C_2; \quad (7.18)$$

в случае применения биполярного транзистора $R_{эн} = R_k$, полевого транзистора – $R_{эн} = R_c$.

2. Частотные искажения, вносимые эмиттерной или истоковой цепями, рассчитывают по формуле

$$M_3 = \sqrt{\frac{(1+a)^2 + (2\pi fg)^2}{1 + (2\pi fg)^2}}. \quad (7.19)$$

Для каскада на биполярном транзисторе:

$$g = R_3 C_3; \quad a = R_3 S_{эс}, \quad (7.20)$$

где $S_{эс}$ – сквозная крутизна характеристики эмиттерного тока:

$$S_{эс} \approx \frac{1 + h_{21э}}{R'_г + h_{11э}}; \quad R'_г = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_g}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_g + R_2 \cdot R_g}. \quad (7.21)$$

Для каскада на полевом транзисторе:

$$g = R_u C_u; \quad a = R_u S. \quad (7.22)$$

После определения коэффициента частотных искажений для каждой цепочки находят результирующие частотные искажения

$$M_n = M_1 M_2 M_3, \quad (7.23)$$

с учетом которых вычисляют коэффициент усиления при изменении частоты усиливаемого сигнала

$$K_{Ун} = K_{У0} / M_n. \quad (7.24)$$

Для области высших частот:

Для каскада на полевом транзисторе частотные искажения определяют по соотношению:

$$M_э = \sqrt{1 + (1 / 2\pi f \tau_э)^2}, \quad (7.25)$$

где $\tau_э = CR_{эс}$.

Емкость C включает в себя емкости сток-истокового перехода транзистора, монтажную и емкость нагрузки:

$$C = C_{cu} + C_m + C_n. \quad (7.26)$$

Сопротивление стоковой цепи для переменного тока, учитывая $R_{cu} \gg R_c$, можно определить по формуле:

$$R_{эв} = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c + R_n}. \quad (7.27)$$

Для каскада на биполярном транзисторе частотные искажения определяют с помощью приближенной формулы:

$$M_g \approx \sqrt{(1 + (f / f_{h21э})^2)(1 + (2\pi f \tau_n)^2)}, \quad (7.28)$$

где $f_{h21э}$ – граничная частота транзистора в схеме с общим эмиттером;

$$\tau_n = CR_{эв}; \quad R_{эв} = R_c \parallel R_n; \quad C = C_{кэ} + C_{м} + C_{н}. \quad (7.29)$$

После определения коэффициента частотных искажений вычисляют коэффициент усиления каскада при изменении частоты усиливаемого сигнала:

$$K_{Uг} = K_{U0} / M_g. \quad (7.30)$$

Расчет АЧХ каскада следует произвести в диапазоне, на границах которого коэффициент усиления составляет $0,7K_{U0}$.

АЧХ каскада необходимо построить в полулогарифмическом масштабе: по оси ординат отложить коэффициент усиления в абсолютных единицах или в децибелах, по оси абсцисс – частоту в логарифмическом масштабе.

Задание 8. Расчет схем активных фильтров

Исходные данные: тип фильтра, частота сопряжения f_0 или полоса пропускания Δf , коэффициент усиления в полосе пропускания K_0 , наклон АЧХ в полосе пропускания n , внутреннее сопротивление и ЭДС источника сигнала $R_{г}$ и $E_{г}$, сопротивление нагрузки $R_{н}$.

Содержание задания

1. Выбрать и обосновать схему активного фильтра на основе ОУ в соответствии с вариантом задания. Объяснить принцип действия схемы.
2. Выбрать тип ОУ, исходя из данных задания. Привести структурную схему и основные параметры ОУ.
3. Рассчитать все элементы активного фильтра. Выбрать тип элементов.
4. Построить и объяснить ЛАЧХ рассчитанного активного фильтра.

Методические указания к выполнению задания

При проектировании активных фильтров нужно изучить методы их построения, выбрать схему фильтра и тип ОУ на основании выходных данных. Расчетные соотношения для активных фильтров можно найти в

литературе [Гусев В.Г. Электроника. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев – М.: Высш. шк., 1982. – С. 259–261; 190–199].

Активные фильтры АФ являются усилителями с избирательными свойствами. Как и пассивные фильтры, они могут быть фильтрами низких частот ФНЧ, фильтрами высоких частот ФВЧ, полосовыми ПФ и режекторными РФ (заградительными). АФ целесообразно применять на частотах ниже 10–20 кГц, где по сравнению с аналоговыми, они имеют преимущества из-за отсутствия громоздких дорогостоящих индуктивностей, характеристики которых далеки от идеальных. Следует уяснить, что избирательность АФ определяется крутизной спада ЛАЧХ и в основном зависит от номиналов пассивных компонентов – конденсаторов и схем их подключения. Рабочий диапазон частот в АФ ограничен сверху максимальной рабочей частотой усилительного элемента. Важно усвоить, что на частоте сопряжения пересекаются отрезки сопрягающихся друг с другом прямых (асимптоты), а на частоте среза коэффициент усиления равен единице (0 дБ).

Следует обратить внимание на то, что при выборе ОУ необходимо учитывать его полосу пропускания. Так, для фильтра нижних частот ФНЧ частота единичного усиления должна удовлетворять неравенству:

$$f_{1oy} \geq f_o k_o. \quad (8.1)$$

Для фильтра верхних частот это неравенство более жесткое:

$$f_{1oy} \geq 100 f_o k_o. \quad (8.2)$$

Для полосовых фильтров можно воспользоваться неравенством (7.1), при этом f_0 – высшая частота сопряжения.

Необходимо обратить внимание на выбор номиналов резисторов и конденсаторов в схемах фильтров. Следует указать в своем расчете, чем ограничены нижний и верхний пределы номиналов резисторов и конденсаторов.

Фильтр нижних частот (ФНЧ) первого порядка имеет монотонную АЧХ (рис.8.1 а, б), максимальный наклон которой в области задерживания колебаний равен –20 дБ/дек. Для данной схемы имеем:

$$k_U = -R_2 / R_1; \quad \omega_0 = 1 / R_2 C. \quad (8.3)$$

$$\text{На частоте } \omega_0: \quad k(\omega_0) = k_U / \sqrt{2}. \quad (8.4)$$

Коэффициент усиления на частоте ω_0 должен быть не менее 60 дБ, при этом стабильность параметров фильтра будет определяться в основном стабильностью пассивных элементов. Частота сопряжения, на которой пересекаются асимптоты, находится из условия:

$$\omega\tau = 1; \quad \tau = R_2 C. \quad (8.5)$$

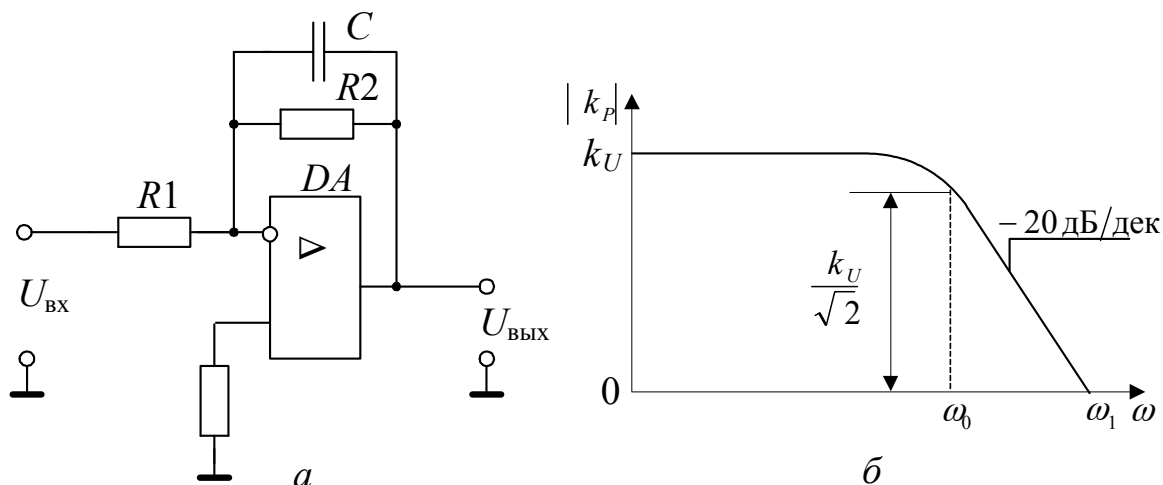


Рисунок 8.1 – Фильтр нижних частот (а), ЛАЧХ (б).

Фильтр нижних частот второго порядка с T -образным мостом (рис. 8.2 а).

Приняв $C_1=C_3$ и $R_1=R_2$, получим:

$$k_0 = 1; \omega_0 = 1/R\sqrt{C_1C_2}; \xi = 2\sqrt{C_2/C_1}, \quad (8.6)$$

где ξ – коэффициент затухания колебаний.

При $R_1=R_2=R$ имеем:

$$C_1 = 2/R\xi\omega_0; C_2 = \xi/2R\omega_0. \quad (8.7)$$

Условие максимально гладкой АЧХ: $\xi = \sqrt{2}$ или $C_1=2C_2$, так как при $\xi < \sqrt{2}$ АЧХ фильтра имеет «всплеск» в области частоты ω_0 . Максимальный наклон АЧХ при $\xi > \sqrt{2}$ равен -40 дБ/дек.

ФНЧ на основе многоконтурной обратной связи показан на рис. 8.2, б. Для данной схемы :

$$k_U = R_2/R_1; \omega_0 = \sqrt{1/R_2R_3C_2C_1}. \quad (8.8)$$

Приняв $R_1=R_2=R_3=R$, получим:

$$\omega_0 = 1/R\sqrt{C_1C_2}; k_U = 1; \xi = 3\sqrt{C_2/C_1}. \quad (8.9)$$

Выбрав R , получим:

$$C_1 = 3/R\xi\omega_0; C_2 = \xi/3R\omega_0. \quad (8.10)$$

Эта схема имеет значительно меньше элементов, чем предыдущая. ЛАЧХ ФНЧ второго порядка дана на рис. 8.2 в.

Очевидно, что ФНЧ n -го четного порядка можно построить путем последовательного включения $n/2$ фильтров второго порядка. Если порядок нечетный, последовательно с фильтром второго порядка включается фильтр первого порядка.

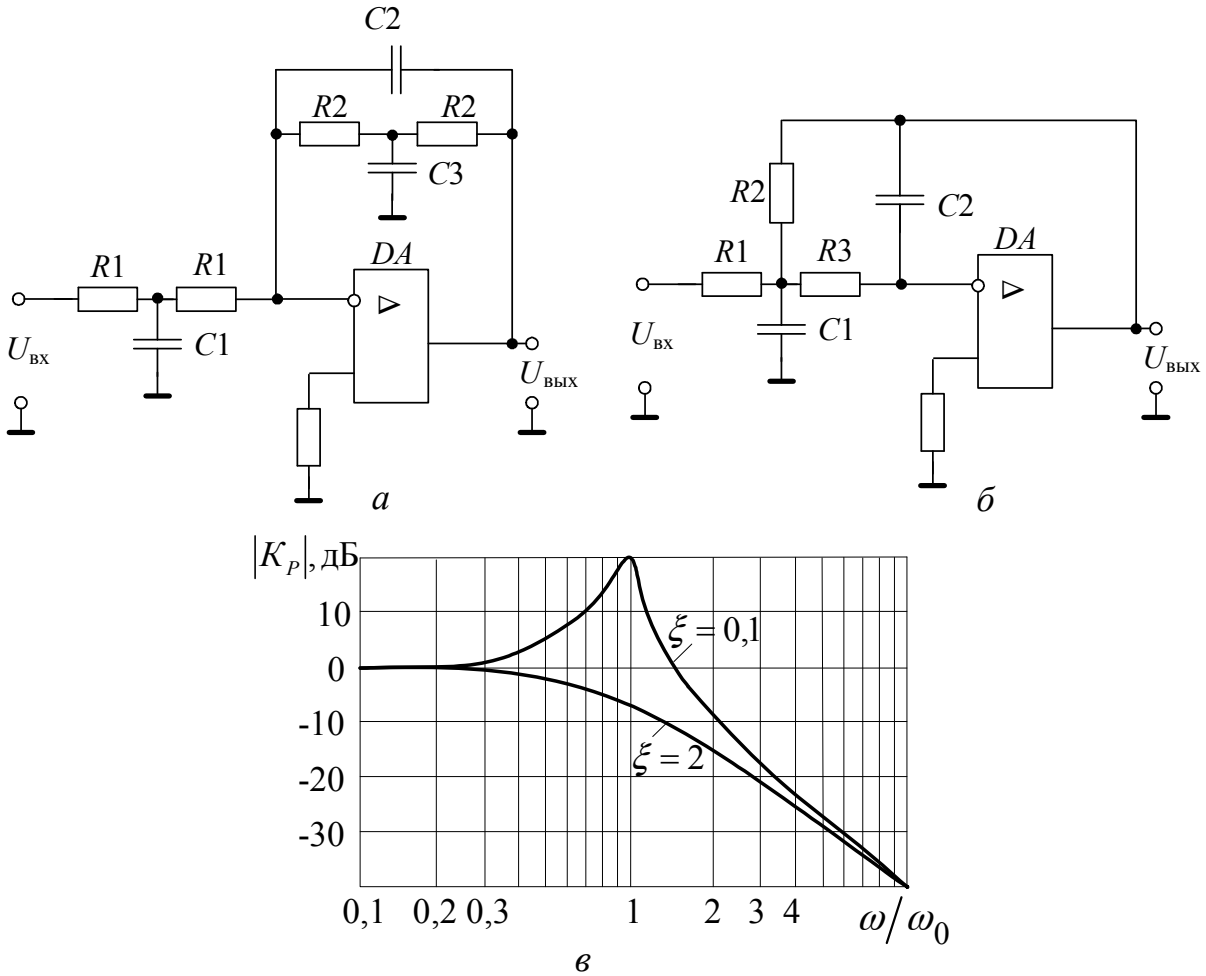


Рисунок 8.2 – ФНЧ с Т-образным мостом (а); ФНЧ с многоконтурной обратной связью (б); ЛАЧХ (в)

Фильтры верхних частот (ФВЧ) первого порядка имеют монотонную АЧХ, максимальный наклон которой в области задерживания колебаний равен значению -20 дБ/дек. Типовая схема ФВЧ и ее ЛАЧХ показаны на рис.8.3 а, б.

Для данной схемы:

$$k_U = -R_2 / R_1; \omega_0 = 1 / R_1 C. \quad (8.11)$$

На частоте ω_0 $k(\omega_0) = k_U / \sqrt{2}. \quad (8.12)$

Стабильность параметров фильтра будет определяться в основном стабильностью пассивных элементов, если коэффициент усиления на частоте ω_0 больше 60 дБ. Частота сопряжения, на которой пересекаются асимптоты, находится из условия:

$$\omega_1 \tau = 1; \tau = R_1 C. \quad (8.13)$$

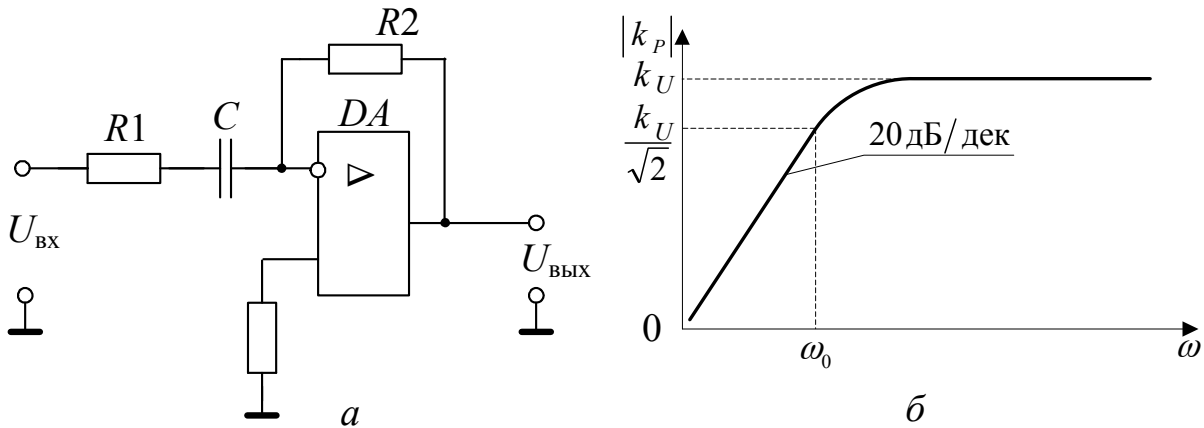


Рисунок 8.3 – ФВЧ первого порядка (а); ЛАЧХ (б)

ФВЧ второго порядка можно построить путем замены в схемах ФНЧ второго порядка соответствующих сопротивлений на емкости и емкостей на сопротивления. Для схемы на рис. 8.4, а имеем: пусть $C_1=C_3$ и $R_1=R_2$, тогда получим:

$$k_0 = 1; \omega_0 = 1/C\sqrt{R_1R_2}; \xi = 2\sqrt{R_1/R_2}, \quad (8.14)$$

где ξ – коэффициент затухания колебаний.

ФВЧ с многоконтурной обратной связью показан на рис. 8.4, б. Для данного фильтра имеем: при $C_1=C_2=C_3=C$

$$k_0 = 1; \omega_0 = 1/C\sqrt{R_1R_2}; \xi = 3\sqrt{R_1/R_2}. \quad (8.15)$$

Такой фильтр обладает относительно высокой стабильностью параметров.

Следует иметь в виду, что для схем с регулируемым коэффициентом усиления параметры k_0 и ξ зависят от коэффициента усиления:

$$\xi = 2 - \alpha; k_0 = 1 + \alpha, \quad (8.16)$$

а α , в свою очередь, определяется отношением соответствующих номиналов резисторов схемы.

Таким образом, меняя α , можно формировать требуемую АЧХ.

Полосовые фильтры имеют полосу пропускания:

$$\Delta\omega = \omega_0\xi = \omega_2 - \omega_1, \quad (8.17)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\omega_1\omega_2}$ – резонансная частота, а ω_1 и ω_2 – соответственно верхняя и нижняя границы полосы пропускания; $\xi = 1/Q$ – коэффициент затухания колебаний, Q – добротность.

Схема резонансного ПФ с многопетлевой обратной связью и его АЧХ показаны на рис. 8.5 а, б. Основные параметры схемы:

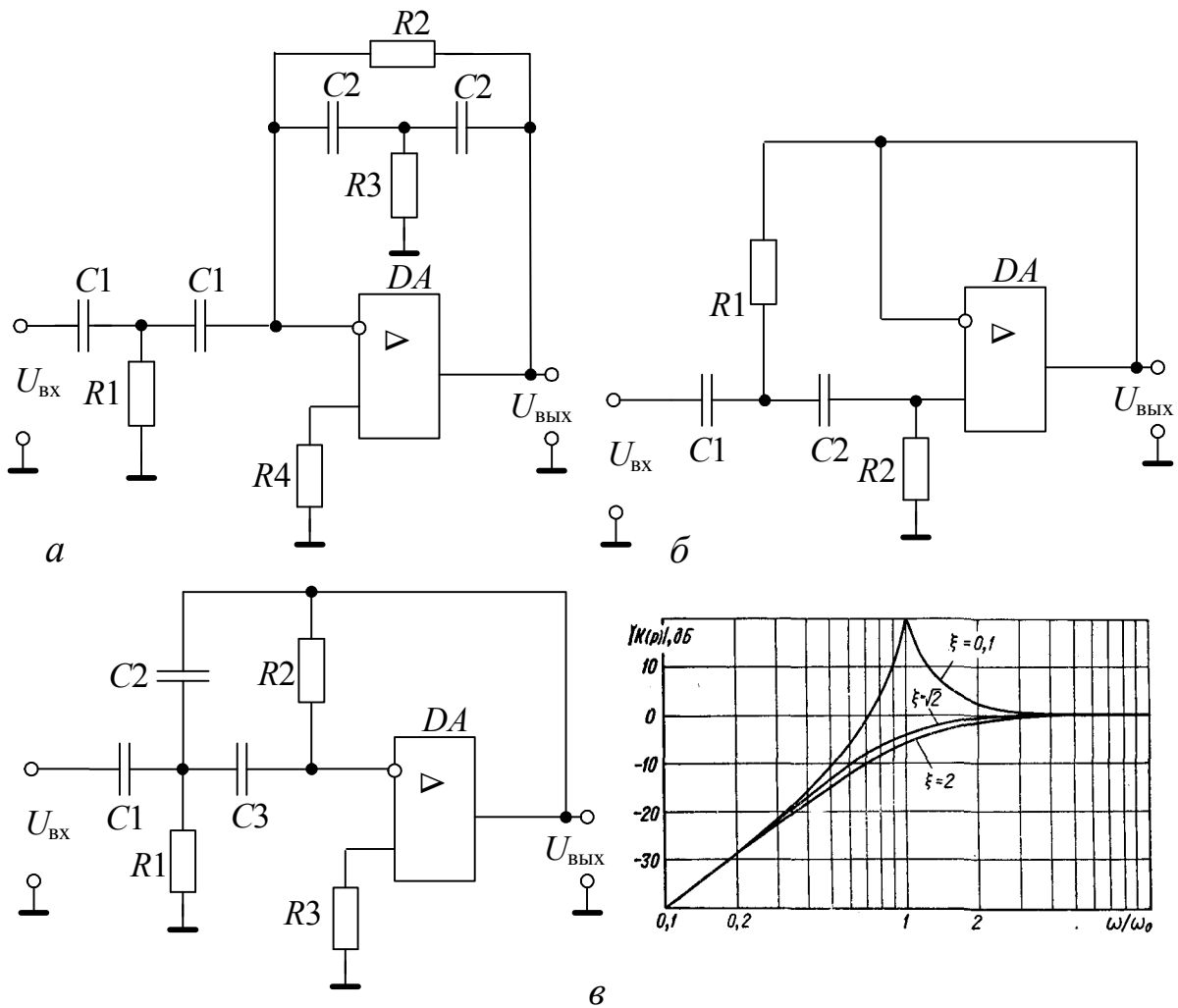


Рисунок 8.4 – ФВЧ второго порядка (а); ФВЧ с многоконтурной обратной связью (б); ФВЧ с регулируемым коэффициентом усиления и его ЛАЧХ (в)

$$k_0 = -\frac{R_5}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1}}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_5 C_1 C_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}, \quad (8.18)$$

$$\xi = \sqrt{\frac{1}{R_5 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}} \left[\sqrt{\frac{C_1}{C_2}} + \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \right]. \quad (8.19)$$

Целесообразно принять $C_1 = C_2$, тогда формулы (8.18) и (8.19) значительно упрощаются. Регулировку добротности в схеме можно осуществлять с помощью резистора R_2 , учитывая, что на практике обычно выбирают $R_1 \gg R_2$.

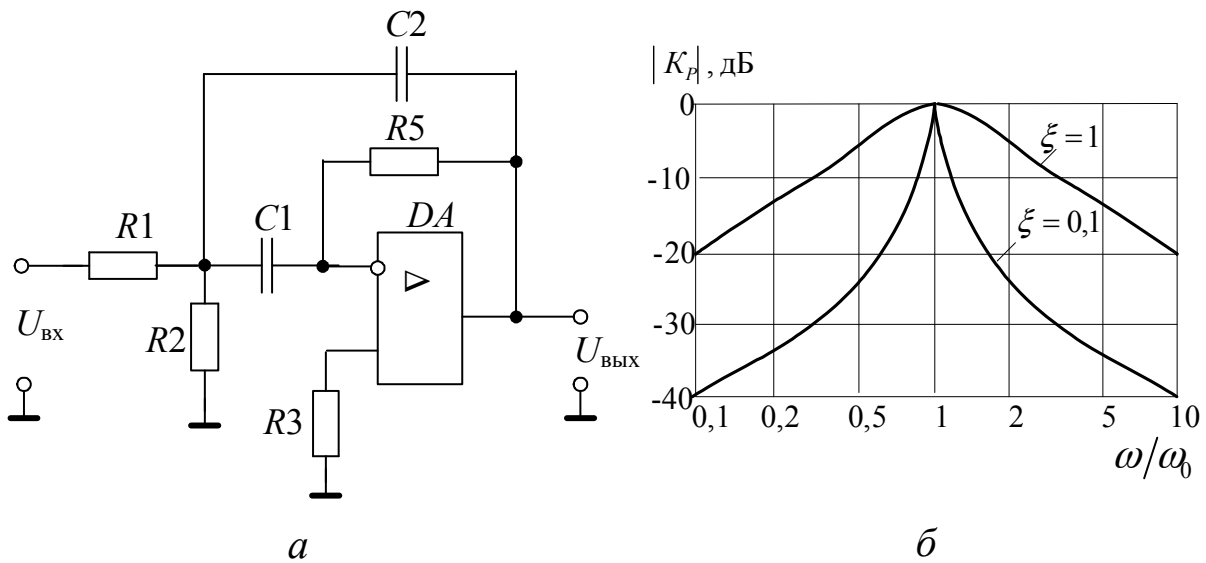


Рисунок 8.5 – Полосовой фильтр с многопетлевой обратной связью (а); ЛАЧХ (б)

В электронных устройствах повышенной точности, автоматически выделяющих сигнал в условиях помех, требуется применение высокодобротных полосовых фильтров с электронной перестройкой полосы и частоты пропускания. Этим требованиям удовлетворяет ПФ на фазовых контурах с добротностью до 500.

СОДЕРЖАНИЕ

Вступление.....	3
1. Требования к оформлению контрольных заданий.....	4
2. Темы установочных лекций.....	7
Список литературы.....	7
3. Программа и методические указания к изучению тем курса.....	9
Тема 1. Полупроводниковые и микроэлектронные приборы.....	9
Тема 2. Электронные усилители. Обратные связи.....	12
Тема 3. Усилительные и импульсные устройства на интегральных операционных усилителях.....	14
Тема 4. Интегральные логические и цифровые устройства	16
Тема 5. Выпрямители малой мощности и сглаживающие фильтры....	18
Тема 6. Выпрямители средней и большой мощности. Ведомые сетью инверторы. Преобразователи переменного напряжения. Импульсные регуляторы постоянного напряжения. Автономные инверторы.....	20
4. Примерный перечень лабораторных работ.....	22
5. Контрольные задания.....	22
6. Примерный список рекомендуемых заданий и ход их решений.....	23
Задание 1. Расчет выпрямителя со сглаживающим фильтром.....	23
Задание 2. Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе по постоянному току	29
Задание 3. Расчет инвертирующего и неинвертирующего усилителей	35
Задание 4. Расчет схем одновибратора и мультивибратора на ОУ.....	36
Задание 5. Синтез логических схем.....	39
Задание 6. Мультивибраторы на логической базе И-НЕ.....	47
Задание 7. Расчет усилителя напряжения.....	50
Задание 8. Расчет схем активных фильтров.....	55

Навчальне видання

**Методичні вказівки
до виконання контрольних робіт з дисциплін «Промислова
електроніка» та «Електроніка і мікросхемотехніка»
для студентів електричних спеціальностей**

Російською мовою

Укладачі: ІЛЬІНА Ольга Володимирівна
КРИЛОВ Денис Сергійович
ВАРВ'ЯНСЬКА Вікторія Віталіївна
ФЕТЮХІНА Людмила Вікторівна

Відповідальний за випуск	Є. І. Сокол
Роботу рекомендував до друку	В. Т. Долбня
Редактор	О.І. Шпільова

План 2013, поз. 142

Підп. до друку 02.06.2014р. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. №2.

Друк – ризографія. Гарнітура – Times New Roman.

Ум. друк. арк. 3.0 Тираж 100 прим.

Зам. № 174 Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ"ХП", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

Центр оперативної поліграфії "Рейтинг"
Харків, пров. Соляніковський, 4.