

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Саратове
филиал СамГУПС в г.Саратове

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО УЧЕБНОЙ
ДИСЦИПЛИНЕ**

ОП.07 ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

для студентов специальности

11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования
(по видам транспорта)

РАССМОТРЕНО

на заседании методического совета
Протокол № 1 от «21» 09 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Протокол № 1 от « 31» 08 2023г.
Председатель ЦМК 11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта)

_____/Ю.А. Солдатенко/

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по учебной работе

_____/С.А. Крижановский/

Автор (составитель):

Солдатенко Ю.А – преподаватель первой квалификационной категории
филиала СамГУПС в г. Саратове

Пояснительная записка

Разработанные методические указания предназначены для выполнения лабораторных и практических работ по учебной дисциплине ОП.07 Электронная техника. Учебная дисциплина ОП.07 Электронная техника входит в состав общепрофессиональных дисциплин специальности 11. 02. 06 Техническая эксплуатация транспортного радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта) и в соответствии с учебным планом изучается в третьем и четвертом семестрах.

Лабораторно - практические занятия относятся к основным видам учебных занятий в филиалах и структурных подразделениях среднего профессионального образования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения», в частности в Саратовском филиале СамГУПС.

Неотъемлемой частью обучения и воспитания студентов является выполнение лабораторных и практических работ. Выполнение лабораторных и практических работ студентами направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие личностных качеств, направленных на устойчивое стремление к самосовершенствованию, самопознанию, самоконтролю, самооценке, саморегуляции и саморазвитию;
- развитие интеллектуальных, аналитических, проектировочных, конструктивных и т.д. умений у будущих специалистов железнодорожного транспорта;
- выработку таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Цели лабораторных и практических занятий:

- закрепить и углубить знание студентов, обеспечить приобретение качественно новых (обобщенных) знаний;
- проверить и подтвердить уровень знаний студентов;
- вырабатывать умение и навыки обращения с оборудованием, приборами и инструментами и т. д.;
- сформировать систему практических умений и навыков по избранной специальности;
- развить у студентов творческое отношение к самостоятельному выполнению практических заданий;
- научить самостоятельно обобщать экспериментальные данные, сравнивать их с теоретическими расчетами и делать соответствующие выводы;
- вызвать интерес к практическому применению теоретических занятий.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен уметь:

У.1- определять и анализировать основные параметры электронных схем и по ним определять работоспособность устройств электронной техники;

У.2- производить подбор элементов электронной аппаратуры по заданным параметрам;

У.3- «читать» маркировку деталей и компонентов электронной аппаратуры.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

З.1- сущность физических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах;

З.2- принципы работы типовых электронных устройств;

З.3- принципы включения электронных приборов и построения электронных схем;

З.4- основы микроэлектроники, интегральные микросхемы и логические устройства

Разработанные методические указания ориентированы на формирование следующих компетенций:

- общие:

— ОК1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

— ОК2 Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

— ОК3 Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

— ОК4 Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

— ОК5 Использовать информационно – коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

— ОК6 Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

— ОК7 Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

— ОК8 Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

— ОК9 Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

- профессиональные:

— ПК2.1 – Выполнять техническую эксплуатацию транспортного радиоэлектронного оборудования в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

— ПК2.2 - Производить осмотр, обнаружение и устранение отказов, неисправностей и дефектов транспортного радиоэлектронного оборудования.

— ПК2.3 – Осуществлять наладку, настройку и регулировку транспортного радиоэлектронного оборудования и систем связи в лабораторных условиях и на объектах.

— ПК2.4 – Осуществлять эксплуатацию, производить техническое обслуживание и ремонт устройств радиосвязи.

— ПК2.5 – Измерять основные характеристики типовых каналов связи, каналов радиосвязи и групповых и линейных каналов.

— ПК3.1 – Осуществлять мероприятия по вводу в действие транспортного радиоэлектронного оборудования с использованием программного обеспечения.

Лабораторные и практические работы целесообразно проводить в порядке изучения программного материала. Перед началом лабораторной работы проводится инструктаж по технике безопасности с записью в журнале установленной формы. Для более эффективного выполнения лабораторных работ необходимо заранее повторить соответствующий материал, а на занятии тщательно ознакомиться как с содержанием, так и с оборудованием.

Выполненные лабораторные и практические работы хранятся в личной папке студента, которая оформляется титульным листом, приведенным в приложении А

После выполнения работы студент представляет преподавателю отчет на листе формата А4, написанный разборчивым почерком, чернилами синего или фиолетового цвета с соблюдением требований к оформлению иллюстраций, формул и таблиц, схем. Возможно оформление отчета с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004): Шрифт №14. межстрочный интервал – 1.5. Абзац- 1,25 см. Текст печатается с выравниванием по ширине. Допускается не доводить до полей не более 3 мм. Поля: слева-20 мм; справа, сверху, снизу-10мм. Все отчеты хранятся в файлах в индивидуальной папке студента. . В отчет входят:

- номер работы;
- наименование работы;
- цели работы;
- ход работы;
- выводы и заключения по результатам практической работы.

Лабораторно-практическое занятие проводится в учебных или компьютерных кабинетах. Продолжительность занятия не менее 2-х академических часов

Необходимыми элементами занятия, помимо самостоятельной деятельности студентов, является анализ и оценка выполненных работ и определении степени овладения студентами запланированных работ.

При выполнении практических работ не менее 60% объема времени отводится на самостоятельную работу студента.

Критерии оценки выполнения студентами лабораторных и практических работ приведены в таблице.

Таблица 1 - Критерии оценки выполнения студентом лабораторных и практических работ

Оцениваемые навыки	Способ оценки	Критерии оценки	
		Зачтено	Не зачтено
Отношение к работе	Наблюдение преподавателя, просмотр материала	Все материалы представлены в указанный срок, не требуют дополнительного времени на завершение	В указанный срок работа не представлена
Способность выполнения вычисления	Просмотр работы	Четко заполняет таблицы (без исправлений) и выполняет вычисления	Не умеет выполнять простейшие арифметические действия. Большое число ошибок в вычислениях, требуется доскональная проверка результатов
Использование оборудования	Наблюдение за выполнением работы	Грамотно работает с приборами, соблюдает все правила и приемы работы. Может иметь свободный доступ к приборам	Не способен без помощи преподавателя выполнять основные операции с приборами. Нет твердых знаний основных частей и правил работы
Умение использовать полученные знания и навыки	Наблюдение преподавателя	Без дополнительных пояснений использует знания и навыки, полученные при изучении дисциплины	Не умеет использовать полученные знания при решении конкретных задач
Оформление работы	Просмотр работы	Все материалы оформлены согласно требованиям	Работа оформлена небрежно. Записи вычислений не могут не привести к дополнительным ошибкам
Умение отвечать на вопросы, пользоваться профессиональной и общей лексикой при сдаче зачета	Собеседование	Грамотно и логически обосновано отвечает на поставленные вопросы	Показывает незнание предмета при ответе на вопросы, узкий кругозор, ограниченный словарный запас, четко выраженная неуверенность в ответах и действиях

Техника безопасности при выполнении лабораторных и практических работ

К выполнению лабораторных работ допускаются обучающиеся, прошедшие инструктаж по правилам безопасности.

После инструктажа по технике безопасности каждый обучающийся должен расписаться в журнале по технике безопасности.

При выполнении лабораторных работ требуется неукоснительное выполнение правил техники безопасности

Общие требования техники безопасности

- Лаборатория предназначена для проведения лабораторно-практических работ по предметам, а также для проведения экспериментальных работ при выполнении дипломных работ и занятий технического творчества.
- К выполнению лабораторных работ студент допускается только после первичного инструктажа на рабочем месте с регистрацией в журнале «Инструктажа по технике безопасности лаборатории».
- Выполнение лабораторных работ, занятий кружка проводятся только в присутствии преподавателя или заведующего лабораторией.
- Лица, нарушающие или не соблюдающие должные правила, лишаются допуска в лабораторию до повторной проверки знаний правил техники безопасности.
- Работа, с включенными приборами и аппаратами, одного человека в помещении лаборатории запрещается.
- Студенты должны помнить, что в лаборатории можно столкнуться со следующими опасностями: электрическим током, статическим электричеством и др.
- Поражение электрическим током возможно в следующих случаях:
 - При прикосновении к токоведущим частям, оголенным проводам, контактам контрольных измерительных приборов, ламповых патронов, предохранителей, находящихся под напряжением.

- При прикосновении к частям аппаратов нормально не находящихся под напряжением, но в результате повреждений (пробоя) изоляции оказавшихся под напряжением.
- При прикосновении к токоведущим частям и мокрой стене или металлической конструкции, соединенной с землей.
- При одновременном прикосновении к 2-м проводам или другим токоведущим частям, которые находятся под напряжением.

Требования безопасности перед началом работы

- Перед проведением лабораторных работ преподаватель и студент проверяют наличие заземления измерительных приборов и установок.
- Студенты могут включить питание и приступить к выполнению работ только с разрешения преподавателя после проверки электрической схемы.
- Перед началом работ проверить инструмент, который должен всегда находиться в исправном состоянии.
- При работе с электропаяльником необходимо:
 - Проверить целостность шнура и штепсельной вилки (шнур должен быть без прожогов).
 - С помощью омметра проверить у паяльника отсутствие пробоя на корпус (обрыва)
- При работе с электродрелью необходимо:
 - Проверить целостность шнура и штепсельной вилки.
 - Проверить провод дрели, который должен быть шланговый и не иметь оголенных мест.

Требования безопасности во время работы

- Не оставлять рабочее место без разрешения преподавателя.

- Размещать приборы, оборудование таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
- При проведении работ не допускать предельных нагрузок измерительных приборов.
- Пользоваться инструментом с изолирующими ручками.
- Наличие напряжения в цепи проверять только приборами или указателями напряжения.
- Не прикасаться мокрыми руками к металлическим корпусам включенных приборов.
- Запрещается использовать соединительные провода без изоляции или с нарушенной изоляцией, производить изменение коммутации при включенном питании.
- Запрещается одновременно касаться руками двух приборов.
- Если в процессе выполнения работы чувствуется запах гари, немедленно отключить питание и сообщить преподавателю.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

- При обнаружении неисправности электроинструмента, перерыва в подаче электроэнергии и других непредвиденных обстоятельствах, выключить все электроприборы.
- В случае поражения электрическим током необходимо:
 - Отключить оборудование лаборатории от питания общим рубильником.
 - Оказать доврачебную медицинскую помощь пострадавшему.
 - Вызвать врача для оказания медицинской помощи.
- В случае возникновения пожара:
 - Произвести отключение питания лаборатории
 - Вызвать пожарную охрану по телефону 01; с сотового телефона 112
 - При тушении пожара применять только углекислотные огнетушители.

Требования безопасности по окончании работы

- По окончании работы выключить все измерительные приборы и устройства. Рабочее место сдать преподавателю.
- Обо всех нарушениях в работе устройств сообщить преподавателю.

Подготовка к выполнению работ

Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей работы и установить, в чём состоит цель и задача этой работы.

По лекционному курсу и соответствующим источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной или практической работе.

Неподготовленные обучающиеся к работе не допускаются.

Лабораторные работы выполняются на оборудовании лабораторного стенда «Физика».

Практические работы, при необходимости, выполняются с помощью персонального компьютера на котором установлена доступная и легко осваиваемая программа Electronics Workbench версии 5.0. Особенностью данной программы является наличие в ней контрольно-измерительных приборов. Контрольно измерительные приборы по внешнему виду, органам управления и характеристикам максимально приближены к реальным. Это способствует одновременно и приобретению практических навыков работы с наиболее распространенными приборами, и моделированию электронных схем.

Правила выполнения лабораторных работ

Для успешного выполнения лабораторной работы необходимо выполнить следующие требования:

Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и измерительными приборами, предназначенными для проведения соответствующей лабораторной работы. При этом следует убедиться, что лабораторный стенд обесточен.

Сборку схемы необходимо проводить в точном соответствии с заданием. При сборке целесообразно пользоваться проводами разных цветов, например, для параллельных ветвей.

После окончания сборки электрическая цепь обязательно должна быть предъявлена для проверки. Включать цепь под напряжение можно только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Запись показаний всех приборов в процессе выполнения работы следует проводить по возможности одновременно и быстро. Следует избегать перерыва начатой серии наблюдений и во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных наблюдений, их необходимо повторить несколько раз.

Результаты измерений заносятся каждым обучающимся в свою рабочую тетрадь или двойной лист в клетку.

После выполнения отдельного этапа лабораторной работы результаты опыта вместе с предварительными контрольными расчетами предъявляются для проверки преподавателю до разборки электрической цепи.

Разбирать электрическую цепь, а также переходить к сборке новой можно только по разрешению преподавателя.

Если при исследовании цепи постоянного тока стрелка измерительного прибора уходит за пределы шкалы в обратном направлении, надо отключить цепь и переключить подходящие к прибору провода.

Если стрелка какого-либо прибора выходит за пределы шкалы, надо немедленно выключить источник питания, доложить преподавателю или лаборанту.

Лабораторная работа считается выполненной только после утверждения её результатов преподавателем и приведения рабочего места в порядок.

Рекомендации по составлению и оформлению отчёта выполненной лабораторной работе

Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. По каждой выполненной работе каждый обучающийся составляет отчет, руководствуясь следующими положениями.

Отчет включает в себя разделы, отражающие все этапы выполнения работы.

Цель работы отражает основные задачи теоретического и экспериментального плана, решаемые в данной работе.

Экспериментальная часть включает в себя электрические схемы и результаты исследований, сведенные в таблицы. Каждый этап, опыт должны иметь свой подзаголовок.

Обработка результатов эксперимента. Приводятся таблицы результатов расчетов по экспериментальным результатам, расчетные соотношения, по которым делались эти расчеты, построенные по результатам экспериментов и расчетов графики, диаграммы.

Отчет должен содержать основные выводы, соответствующие цели лабораторной работы. По указанию преподавателя в отчете даются ответы на контрольные вопросы.

Графическая часть отчета (схемы, таблицы, графики) выполняются карандашом с применением соответствующих чертежных инструментов.

Принципиальные схемы вычерчиваются в соответствии с требованиями ГОСТа. В местах электрических соединений (узлах) ставится точка.

Векторные диаграммы строятся в масштабе с соблюдением величин углов и указанием масштаба.

При построении графиков следует помнить, что, так как задачей лабораторных исследований является выяснение общих закономерностей, то все шкалы графиков

должны начинаться с нуля. На осях графиков дается обычно равномерная шкала с круглыми значениями оцифрованных делений.

При необходимости одна из шкал может иметь логарифмический характер. При вычерчивании графиков надо учитывать, что всякое измерение имеет случайные погрешности. Поэтому не следует проводить кривые через все экспериментальные точки. На рабочем поле указываются экспериментальные точки, по которым строится плавная непрерывная кривая, которая проходит среди экспериментальных точек. Если в одних координатных осях строят несколько графиков функций одной независимой переменной, то следует провести дополнительные шкалы параллельно основной вне основного поля. При построении графиков вдоль оси абсцисс в выбранном масштабе откладывают независимую переменную. Условное буквенное обозначение этой величины рекомендуется ставить под осью, а наименование единиц измерения либо их десятичных кратных или дольных единиц – после обозначения

Вдоль оси ординат масштабные цифры ставят слева от оси, наименование или условное обозначение откладываемых величин – также слева от оси и под этим обозначением указывают единицу измерения. Наименование единиц измерения дается без скобок.

Отчёт не должен быть громоздким. В отчёт не стоит, например, включать пояснения к работе, изложенные в методических указаниях, полные расчёты, выполненные в домашней подготовке, схемы, рисунки и графики не по ГОСТу (огромных размеров) т.п.

Правила выполнения практических работ

Задание выполняется по системе: описание этапа работы и обоснование его в виде расчета.

При использовании формул соблюдается следующая схема записи: формула, подстановка значений вместо каждого символа, результат.

Все рисунки должны иметь нумерацию и подпись, а таблицы – нумерацию и название. Нумерация должна быть сквозная.

Выполнение практического задания заканчивается выводом, где указываются сокращенные (обобщенные), но достаточные данные.

Для успешной сдачи практической работы требуется следующие:

- аккуратность и правильность выполнения, с соблюдением всех принципов;
- знание символов применяемых формул и понятий;
- умение расшифровать условные обозначения элементов;
- понимание сущности выполнения данной работы;
- умение делать выводы и анализировать результаты.

Лабораторный стенд по исследованию полупроводниковых приборов №1

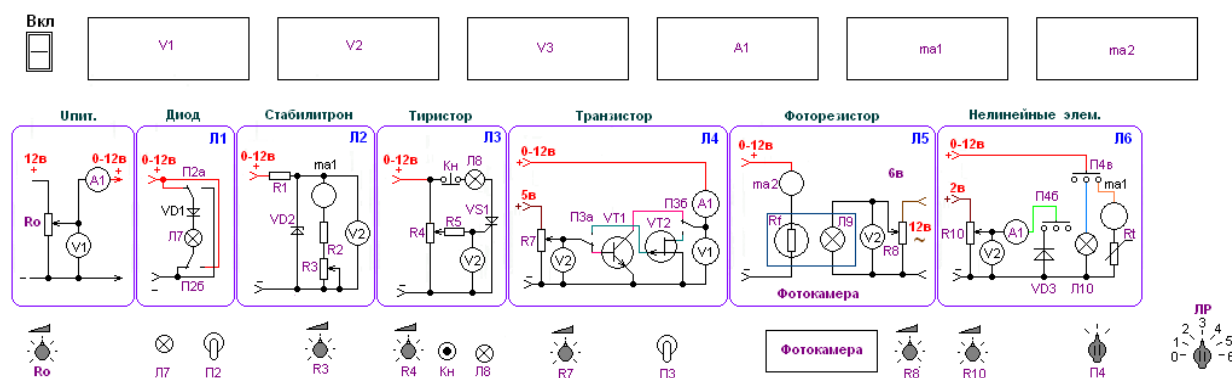


Рисунок 1 – Внешний вид стенда

Подготовка лабораторного стенда к работе:

- 1 Вставить вилку в розетку с напряжением 220В.
- 2 Установить переключатель лабораторных работ ЛР в положение 0.
- 3 Все переменные резисторы – R0, R3, R4, R7, R8, R10 – установить в крайне левое положение (без особых усилий).
- 4 Включить выключатель ВКЛ, при этом высветятся все измерительные приборы.
- 5 Установка готова к работе.

ПРИМЕЧАНИЕ: при выборе лабораторной работы переключателем ЛР, загорается индикатор соответствующей работы.

Лабораторный стенд по исследованию полупроводниковых приборов №2

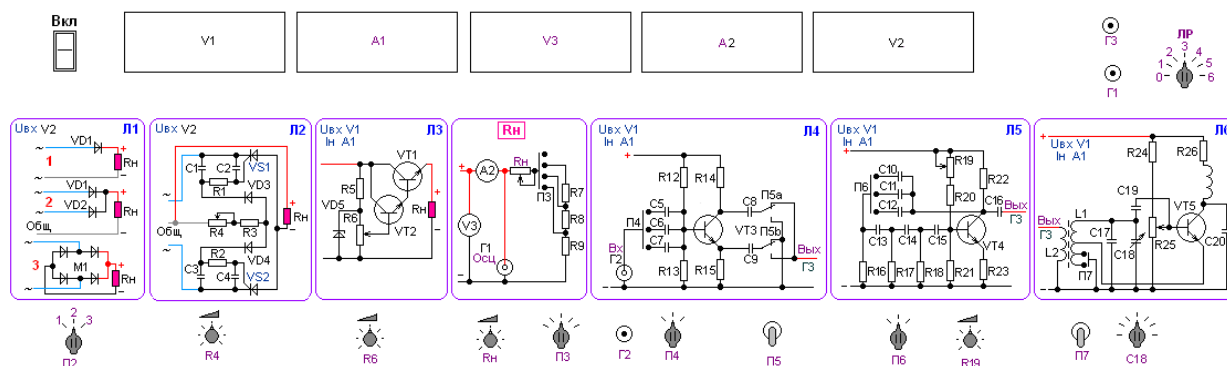


Рисунок 2 – Внешний вид стенда

Подготовка лабораторного стенда к работе:

- 1 Вставить вилку в розетку с напряжением 220в.
- 2 Установить переключатель лабораторных работ ЛР в положение 0.
- 3 Переменные резисторы – R4, R6, Rн, – установить в крайне левое положение (без особых усилий).
- 4 Включить выключатель ВКЛ, при этом высветятся все измерительные приборы.
- 5 Установка готова к работе.

ПРИМЕЧАНИЕ: при выборе лабораторной работы переключателем ЛР, загорается индикатор соответствующей работы.

Список лабораторных и практических работ

Список лабораторных и практических работ приведен в соответствии с порядком их выполнения согласно рабочей программе ОП.07 Электронная техника

Лабораторная работа №1 Исследование работы выпрямительных диодов

Лабораторная работа № 2 Исследование работы стабилитронов

Практическая работа № 1 Исследование работы биполярного транзистора, включенного с общей базой (ОБ).

Практическая работа № 2 Исследование работы биполярного транзистора, включенного с общим эмиттером (ОЭ).

Практическая работа №3 Определение h -параметров биполярных транзисторов по статическим характеристикам.

Практическая работа № 4 Исследование работы полевого транзистора

Практическая работа №5 Исследование тиристора

Лабораторная работа № 3 Исследование работы фотоэлектрического прибора

Практическая работа № 6 Графоаналитический анализ работы биполярного транзистора режима А

Практическая работа № 7 Расчет показателей структурных схем усилителей с различными видами обратных связей

Практическая работа № 8 Исследование работы каскада предварительного усиления

Практическое занятие № 9 Исследование работы фазоинверсного каскада

Практическая работа № 10 Исследование работы дифференциального каскада

Практическая работа № 11 Исследование схем устройств на операционном усилителе

Практическая работа № 12 Расчет элементов и параметров схем функциональных узлов на операционном усилителе

Лабораторная работа № 4 Исследование схем генераторов LC на транзисторах

Лабораторная работа № 5 Исследование схем генераторов RC на транзисторах

Практическая работа № 13 Исследование дифференцирующих и интегрирующих цепей

Лабораторная работа №6 Исследование работы автоколебательного мультивибратора

Практическая работа № 14 Расчет параметров схемы автоколебательного мультивибратора

Практическая работа № 15 Исследование работы триггера Шмита

Лабораторная работа №1

Исследование работы выпрямительных диодов

Цель работы: Научиться экспериментально снимать вольтамперные характеристики; научиться строить вольтамперные характеристики диодов; приобрести навыки по определению параметров диодов по их характеристикам; приобрести практические навыки исследования диодов и работы с приборами.

Оборудование: Лабораторный стенд «Физика»

Краткие теоретические сведения

Для изготовления полупроводниковых приборов применяются такие полупроводниковые материалы, как германий и кремний. Чаще всего используются материалы с примесной проводимостью, которая может во много раз превышать их собственную проводимость.

Электронно-дырочный переход – это переходный слой между двумя областями полупроводника с различной электропроводимостью. Условно электронно-дырочный переход обозначается р-п, независимо от последовательности расположения областей проводимости полупроводника.

Различают прямое и обратное включение р-п перехода. Прямым называется такое включение р-п перехода, при котором «плюс» внешнего источника питания прикладывается к р-области, а «минус» внешнего источника питания прикладывается к п-области. При таком подключении р-п переход находится в пропускном или открытом состоянии. Запирающее состояние р-п перехода получается, когда к р-области прикладывается «минус» внешнего источника, а к п-области-«плюс».

Полупроводниковый выпрямительный диод предназначен для преобразования переменного тока в постоянный. Он представляет собой прибор с одним р-п переходом и двумя выводами. Вывод из зоны типа р называется анодным, а вывод из зоны типа п-катодным.

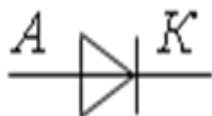


Рисунок 1 – Условное графическое (УГО) обозначение диода

Основной характеристикой выпрямительного диода является вольтамперная характеристика. Она представляет собой зависимость тока от приложенного внешнего напряжения.

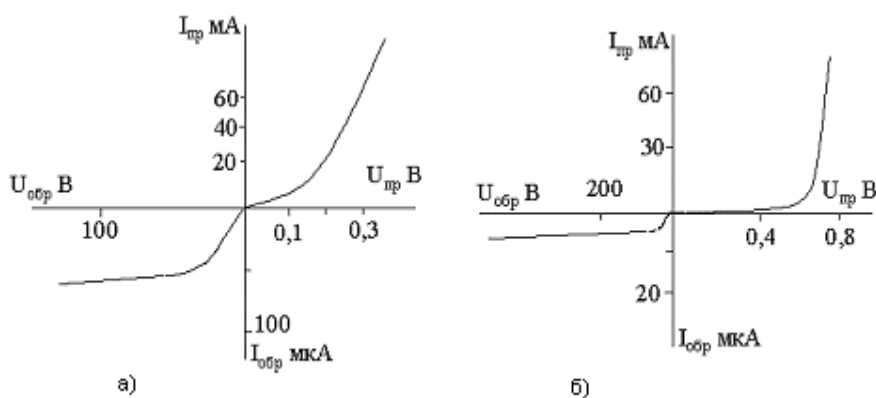
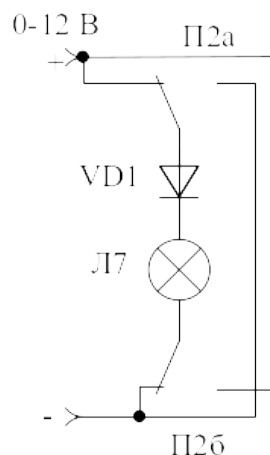


Рисунок 2 - Вольтамперные характеристики диодов: а) – германиевого б) – кремниевого

При прямом включении с ростом напряжения сопротивление диода уменьшается, поэтому ток увеличивается. При обратном включении с ростом напряжения сопротивление диода также растет, поэтому ток увеличивается незначительно.

Порядок выполнения работы.

1 Ознакомьтесь с оборудованием рабочего места и со схемами для определения вольт-амперной характеристики диода.



2 Установите переключатель лабораторных работ ЛР в первое положение.

3 Поставьте переключатель П2 в верхнее положение.

4 Вращая регулятор напряжения питания R0, обратите внимание на показания приборов A1 и V1: если напряжение увеличивается, а ток в цепи не появляется, то, следовательно, диод включён в обратном направлении.

5 Поставьте переключатель П2 в нижнее положение. В цепи диода появится ток, при этом загорится лампочка Л7 и амперметр A1 покажет значение тока.

Таким образом, убедились, что диод имеет одностороннюю проводимость.

6 Снова переведите регулятор напряжения R0 в крайне левое положение, и начните плавно увеличивать напряжение. Фиксируйте показания вольтметра V1 и одновременно показания амперметра A1.

7 Показания занесите в таблицу:

№	V1	A1

8 По данным таблицы постройте прямую ветвь вольтамперной характеристики диода.

9 Сформулируйте и запишите вывод о проделанной работе.

Содержание отчета.

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Таблица с результатами измерений.
- 4 График.
- 5 Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы.

- 1 Условное графическое обозначение выпрямительного диода
- 2 Принцип действия диода.
- 3 Как конструктивно выполнен диод.
- 4 Укажите, сколько зон проводимости у полупроводникового диода.
- 5 Укажите, сколько р-п переходов в полупроводникового диоде.
- 6 Поясните, что называется прямым включением диода.
- 7 Поясните, что называется обратным включением диода.

Лабораторная работа № 2

Исследование работы стабилитронов

Цель работы: Научиться экспериментально снимать вольтамперные характеристики; научиться строить нагрузочные характеристики стабилитрона; приобрести практические навыки исследования стабилитронов и работы с приборами.

Оборудование: Лабораторный стенд «Физика»

Краткие теоретические сведения

Полупроводниковый стабилитрон – это диод, предназначенный для работы в режиме пробоя на обратной ветви вольтамперной характеристики. Стабилитроны проектируются и изготавливаются таким образом, что либо туннельный, либо лавинный пробой, либо оба эти явления вместе возникают задолго до того, как в кристалле диода возникнут предпосылки к тепловому пробую. Состояние пробоя не ведет к порче стабилитрона, а является его нормальным рабочим состоянием.

Напряжение стабилизации $U_{ст.}$. Напряжение, которое устанавливается на выводах стабилитрона при протекании через него обратного тока в пределах от $I_{ст. min}$ до $I_{ст. max}$, называется **напряжением стабилизации**. Напряжение стабилизации $U_{ст.}$ незначительно зависит от тока $I_{ст.}$. Напряжение стабилизации связано с напряжением пробоя, но не равно ему, так как ВАХ имеет определенную крутизну.

В общем случае $U_{ст.}$ определяется шириной запирающего слоя $p-n$ -перехода, то есть концентрацией примесей в полупроводнике. В случае большой концентрации примеси $p-n$ -переход получается тонким, и в нем даже при малых напряжениях возникает электрическое поле, вызывающее туннельный пробой. При малой концентрации примеси $p-n$ -переход имеет значительную ширину, и лавинный пробой наступает раньше. Иногда помимо напряжения стабилизации нормируется разброс величины напряжения стабилизации $\Delta U_{ст. ном}$, представляющий собой максимально допустимое отклонение напряжения стабилизации от номинального для стабилитронов одного типа.

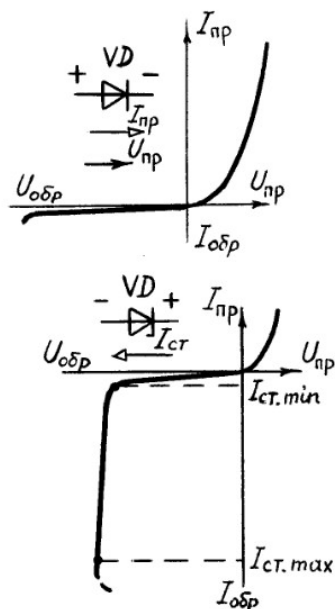


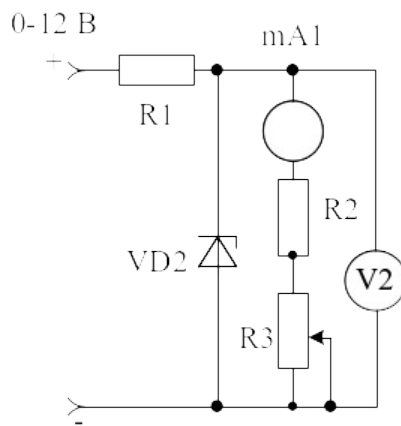
Рисунок 1 - Вольтамперная характеристика стабилитрона и УГО

Минимально допустимый ток стабилизации $I_{ст.мин}$. При малых обратных токах стабилитрон работает на начальном участке вольтамперной характеристики, где значение обратного напряжения неустойчиво и может колебаться в пределах от 0 до $U_{ст}$. Величина минимально допустимого тока стабилизации $I_{ст.мин}$ задает минимальный ток, при котором гарантируется ввод $p-n$ -перехода стабилитрона в режим устойчивого пробоя и, как следствие, стабильное значение напряжения стабилизации $U_{ст}$.

Максимально допустимый ток стабилизации $I_{ст.мах}$. Максимально допустимый ток стабилизации – это максимальный ток, при котором гарантируется надежная работа стабилитрона. Он определяется максимально допустимой рассеиваемой мощностью прибора. Рабочий ток стабилитрона (его обратный ток) не должен превышать максимально допустимого значения $I_{ст.мах}$ во избежание теплового пробоя полупроводниковой структуры и выхода стабилитрона из строя.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места и со схемами для определения нагрузочной характеристики стабилитрона.



2 Установить переключатель лабораторных работ ЛР во второе положение.

3 Вращая регулятор напряжение R0 увеличивать напряжение питания с нуля до максимума, при этом фиксируя входное напряжение V1 и напряжение на стабилитроне V2.

4 На основании измерений заполнить таблицу:

№	V1	V2

5 По таблице определить величину напряжения стабилизации по показаниям V2, когда напряжение на стабилитроне не изменяется при увеличении входного напряжения по показаниям V1.

6 Оставить значение V1 на максимальной величине.

7 Фиксируя напряжение стабилизации, вращая регулятор R3 увеличивать ток нагрузки стабилизации по показанию миллиамперметра mA1 и записать в таблицу:

№	V1	V2	mA1

- 8 Построить нагрузочные характеристики стабилизатора по значениям V_2 и mA_1 .
- 9 Сформулируйте и запишите вывод о проделанной работе.

Содержание отчета

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Таблица с результатами измерений.
- 4 График.
- 5 Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы.

- 1 Принцип действия стабилизатора.
- 2 Перечислите эксплуатационные параметры полупроводникового стабилизатора.
- 3 Достоинства и недостатки полупроводниковых стабилизаторов.
- 4 Какой вид пробоя используется в стабилизаторе.

Практическая работа № 1

Исследование работы биполярного транзистора, включенного с общей базой (ОБ).

Цель работы: Ознакомиться с принципом действия биполярного транзистора. Опытным путем снять и проанализировать входные и выходные вольт-амперные характеристики биполярного транзистора, включенного с общей базой. Научиться определять по характеристикам основные параметры биполярного транзистора. Получить практические навыки компьютерного моделирования электронных схем.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ElectronicsWorkbench5.12

Краткие теоретические сведения

Биполярный транзистор - электронный полупроводниковый прибор, один из типов транзисторов, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов. Транзистор называется биполярный, поскольку в работе прибора одновременно участвуют два типа носителей заряда – электроны и дырки. Основным назначением биполярных транзисторов является усиление электрических сигналов по мощности, напряжению и току. Представляет собой кристалл полупроводника в котором созданы два электрически взаимодействующих р-п перехода. Кристалл помещается в герметизирующий корпус и создаются 3 вывода.

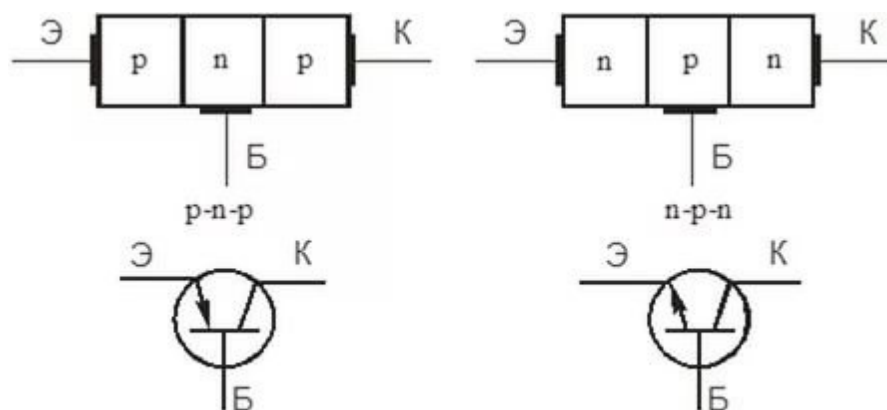


Рисунок 1- Устройство и УГО биполярных транзисторов

Область, от которой сделан вывод Э, называется эмиттерной областью. Б-базовой. К-коллекторной. Р-п переход между Э и Б областями называется эмиттерным переходом. Р-п переход между Б и К областями называется коллекторным переходом. Чтобы транзистор эффективно усиливал электрические сигналы, при изготовлении транзистора нужно выполнить следующие условия:

- Область эмиттера должна иметь высокую электропроводимость, больше чем у остальных областей
- Электропроводимость базы должна быть небольшой, близкой к электропроводимости собственного проводника
- Толщина области базы должна быть меньше длины свободного пробега подвижных носителей заряда
- Электропроводимость области коллектора должна быть больше электропроводимости базы, но меньше чем эмиттера
- Площадь коллекторного р-п перехода должна быть намного больше площади эмиттерного р-п перехода.

Схемы включения биполярных транзисторов.

Схемы включения транзисторов получили своё название в зависимости от того, какой из выводов транзисторов будет являться общим для входной и выходной цепи:

- Схема включения с общей базой ОБ
- Схема включения с общим эмиттером ОЭ
- Схема включения с общим коллектором ОК

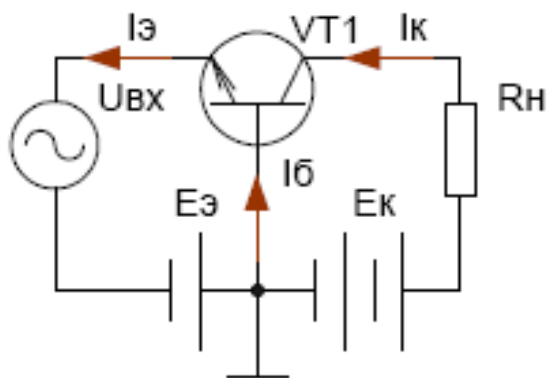


Рисунок 2 - Схема включения с общей базой

Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями:

- коэффициент усиления по току;
- входное сопротивление.

Входное сопротивление для схемы с общей базой мало и составляет десятки Ом, так как входная цепь транзистора при этом представляет собой открытый эмиттерный переход транзистора.

Недостатки схемы с общей базой:

- схема не усиливает ток;
- малое входное сопротивление;
- два разных источника напряжения для питания.

Достоинства – хорошие температурные и частотные свойства.

Порядок выполнения работы.

1 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении работ и схемами для проведения исследований.

2 Схема для исследования входных характеристик биполярного транзистора, включенного с общей базой, приведена на рисунке 1

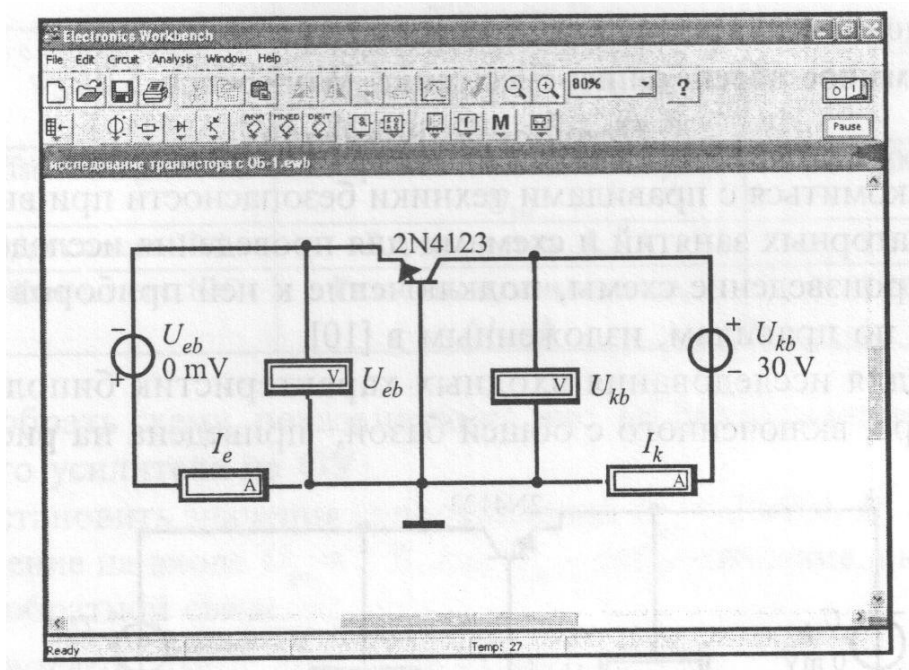


Рисунок 1 - Схема для исследования входных характеристик биполярного транзистора, включенного с общей базой

3 Схема для исследования выходных характеристик биполярного транзистора, включенного с общей базой, приведена на рисунке 2

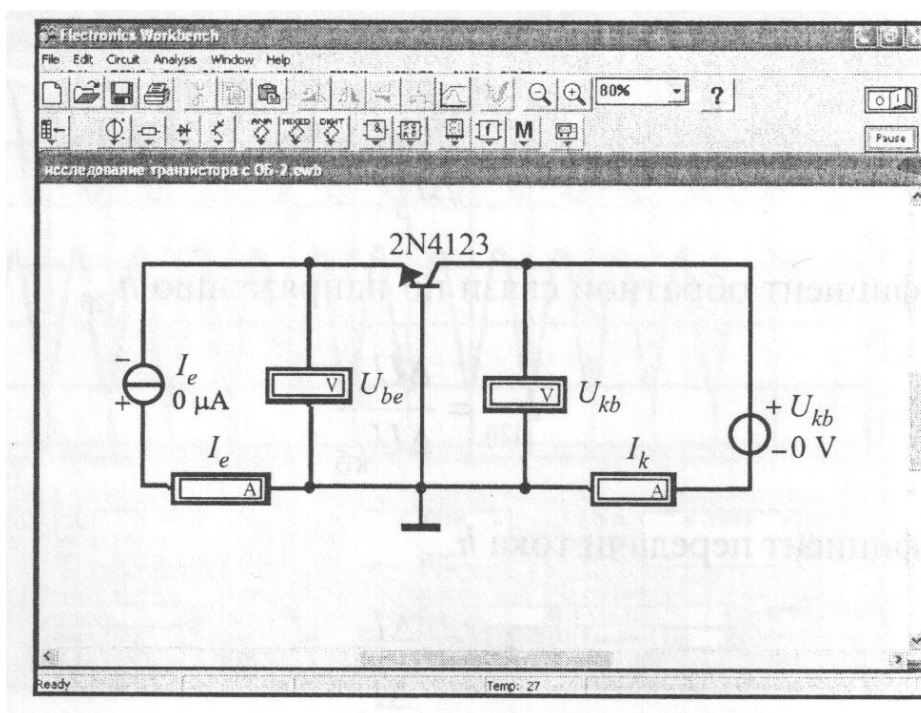


Рисунок 2 - Схема для исследования выходных характеристик биполярного транзистора, включенного с общей базой

- 4 Записать паспортные данные исследуемого транзистора
- 5 Собрать схему, показанную на рисунке 1. Кнопкой включить схему.
- 6 Снять семейство входных статических характеристик транзистора с общей базой. Для снятия входной характеристики транзистора необходимо установить в схеме напряжение $U_{kb} (U_{кб}) = 0 В$ и повышать напряжение $U_{eb} (U_{эб})$ от 0 до 1200 мВ (через каждые 100 мВ), отмечая значения тока $I_e (I_э)$ транзистора. Для этого необходимо выполнить следующие действия:
 - а) на схеме (рисунок 1) навести курсор на источник постоянного напряжения (батарею) U_{kb} ;
 - б) дважды щелкнуть левой кнопкой мыши;

в) в появившемся диалоговом окне Battery Properties (свойства батареи) в меню Value (параметр) установить значение 0 В и нажать кнопку ОК диалогового окна;

г) на схеме навести курсор на источник постоянного напряжения U (батарею). В появившемся диалоговом окне Battery Properties (свойства батареи) в меню Value (параметр) установить значение 100 мВ и нажать кнопку ОК диалогового окна. Значение $I_c(I_3)$ для данного напряжения занести в таблицу;

д) аналогично выполнить измерения для других значений напряжения;

е) далее изменить значение $U_{kb} (U_{кб}) = 30$ В и проделать измерения согласно п. 6.

7 Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

Uэб	I ₃ , мА	
	При U _{kb} =0В	При U _{kb} =30В

8 По данным таблицы построить графики семейства входных статических характеристик исследуемого транзистора в масштабе, удобном для определения параметров транзистора

9 Собрать схему, показанную на рисунке 2

10 Кнопкой включить схему

11 Снять семейство выходных статических характеристик транзистора с общей базой. Для снятия выходной характеристики транзистора установить в схеме ток $I_c(I_3) = 50$ мкА и повышать напряжение $U_{ке} (U_{кэ})$ от 0 до 60 В (через каждые 5 В), отмечая значения тока $I_k(I_k)$ транзистора. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- а) на схеме (рисунок 2) навести курсор на источник постоянного тока дважды щелкнуть левой кнопкой мыши;
- б) в появившемся диалоговом окне DC Current Properties (свойства источника постоянного тока) в меню Value (параметр) установить значение 50 мкА и нажать кнопку ОК диалогового окна;
- в) на схеме навести курсор на источник постоянного напряжения $U_{кб}$ (батарею). В появившемся диалоговом окне Battery Properties (свойства батареи) в меню Value (параметр) установить значение 5 В и нажать кнопку ОК диалогового окна. Значение $I_k(I_k)$ для данного напряжения занести в таблицу2;
- г) аналогично выполнить измерения для других значений напряжения;
- д) далее изменить значение $I_c(I_s) = 100$ мкА, а затем 150 мкА и проделать измерения согласно п. 11.

12 Результаты занести в таблицу 2

Таблица 2

U _{кб}	I _с , мА		
	При I _с = 50мкА	При I _с =100мкА	При I _с = 150мкА

13 По данным таблицы построить графики семейства выходных статических характеристик исследуемого транзистора в масштабе, удобном для определения параметров транзистора

Контрольные вопросы

- 1 Классификация биполярных транзисторов и их маркировка.
- 2 Область применения биполярных транзисторов.
- 3 Различия транзисторов структуры р-п-р и п-р-п.

- 4 Принцип действия биполярного транзистора.
- 5 Токи в биполярном транзисторе.
- 6 Параметры квазистатического нагрузочного режима.
- 7 Физические параметры транзисторов.
- 8 Режимы работы биполярных транзисторов.
- 9 Импульсный режим работы биполярного транзистора.

Практическая работа № 2

Исследование работы биполярного транзистора, включенного с общим эмиттером (ОЭ).

Цель работы: С помощью оборудования изучить и провести экспериментальные исследования биполярных транзисторов. Построить семейство коллекторных статических характеристик.

Оборудование: Лабораторный стенд «Физика»

Краткие теоретические сведения

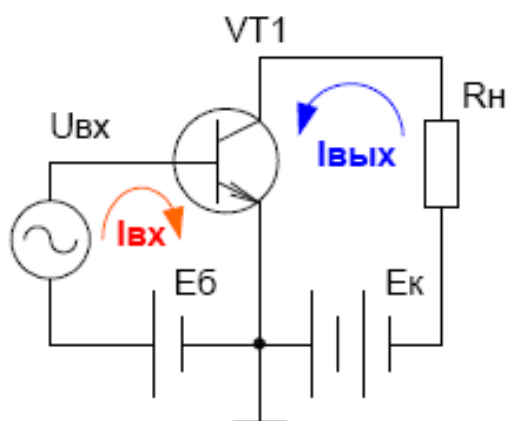


Рисунок 1 - Схема включения биполярного транзистора с общим эмиттером (ОЭ)

Эта схема, изображенная на рисунке, является наиболее распространённой, так как она даёт наибольшее усиление по мощности.

Коэффициент усиления по току такого каскада представляет собой отношение амплитуд (или действующих значений) выходного и входного переменного тока, то есть переменных составляющих токов коллектора и базы. Поскольку ток коллектора в десятки раз больше тока базы, то коэффициент усиления по току составляет десятки единиц. Коэффициент усиления каскада по напряжению равен отношению амплитудных или действующих значений выходного и входного переменного напряжения. Входным является переменное напряжение база - эмиттер $U_{бэ}$, а

выходным - переменное напряжение на резисторе нагрузки R_n или, что то же самое, между коллектором и эмиттером – $U_{кэ}$.

Напряжение база - эмиттер не превышает десятых долей вольта, а выходное напряжение при достаточном сопротивлении резистора нагрузки и напряжении источника E_k достигает единиц, а в некоторых случаях и десятков вольт. Поэтому коэффициент усиления каскада по напряжению имеет значение от десятков до сотен. Отсюда следует, что коэффициент усиления каскада по мощности получается равным сотням, или тысячам, или даже десяткам тысяч. Этот коэффициент представляет собой отношение выходной мощности к входной. Каждая из этих мощностей определяется половиной произведения амплитуд соответствующих токов и напряжений. Входное сопротивление схемы с общим эмиттером мало (от 100 до 1000 Ом). Каскад по схеме ОЭ при усилении переворачивает фазу напряжения, т. е. между выходным и входным напряжением имеется фазовый сдвиг 180° .

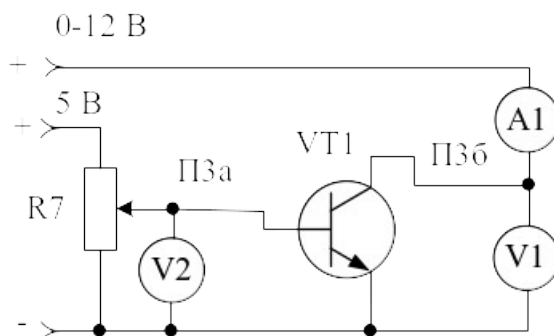
Достоинства схемы с общим эмиттером:

- большой коэффициент усиления по току
- большее, чем у схемы с общей базой, входное сопротивление
- для питания схемы требуются два однополярных источника, что позволяет на практике обходиться одним источником питания.

Недостатки: худшие, чем у схемы с общей базой, температурные и частотные свойства. Однако за счёт преимуществ схема с ОЭ применяется наиболее часто.

Порядок выполнения работы.

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места и со схемами.



2 Установить переключатель лабораторных работ ЛР в четвертое положение.

3 Регулятор R0, R7 поставить в крайнее левое положение.

4 Переключатель ПЗ поставить в нижнее положение – исследование биполярного транзистора.

5 Регулятором R7 выставить 0,6В на базе по вольтметру V2.

6 Регулятором R₀ изменять напряжение коллекторе U_к от 1 до 12 вольт фиксируя значения коллекторного тока I_к амперметром A1, при разных значениях напряжения.

7 Измерения повторить при значениях напряжения на базе U_б 1, 2, 3, 4, 5В на вольтметре V2.

8 Данные измерений занести в таблицу:

U _{бэ} =1В		U _{бэ} =2В		U _{бэ} =3В		U _{бэ} =4В		U _{бэ} =5В	
U _{кэ}	I _к	U _{кэ}	I _к	U _{кэ}	I _к	U _{кэ}	I _к	U _{кэ}	I _к

9 По данным таблицы построить семейство коллекторных статических характеристик для биполярного транзистора включенного по схеме с ОЭ.

10 Сформулируйте и запишите вывод о проделанной работе

Содержание отчета.

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Таблица с результатами измерений.

4 График.

5 Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы.

- 1 Принцип действия биполярного транзистора.
- 2 Режимы работы биполярных транзисторов.
- 3 Параметры биполярных транзисторов.
- 4 В каком режиме работы транзистораток коллектора не реагирует на изменения тока базы .
- 5 В каком режиме работы транзистор практически не используют.

Практическая работа №3

Определение h -параметров биполярных транзисторов по статическим характеристикам.

Цель работы: определить h -параметры по статическим характеристикам биполярного транзистора, включенного с общим эмиттером

Оборудование: калькулятор, индивидуальные задания, справочник

Исходные данные

По статическим входным и выходным характеристикам заданного транзистора, включенного с ОЭ, в рабочей точке $I_{Б0}$ и $U_{КЭ0}$:

- определите h -параметры h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} и сравните с паспортными значениями;
- по полученным значениям h -параметров для схемы с ОЭ определите h -параметры для схемы с ОБ;
- определите физические параметры транзистора. Тип транзистора, значения $I_{Б0}$ и $U_{КЭ0}$ и его статические характеристики задаются преподавателем из справочника и выписываются в таблицу:

Номер варианта	Марка транзистора	$I_{Б0}$	$U_{КЭ0}$

Краткие теоретические сведения

При работе транзистора в усилительном режиме его свойства определяются малосигнальными параметрами, для которых транзистор можно считать линейным элементом. На практике наибольшее применение получили малосигнальные гибридные или h -параметры.

Значения h -параметров зависят от способа включения транзистора и на низких частотах могут быть определены по статическим характеристикам. При этом амплитуды малых токов и напряжений заменяются приращениями. В результате уравнения приобретают вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{m\text{вх}} &= h_{11} \Delta I_{m\text{вх}} + h_{12} \Delta U_{m\text{вых}} \\ \Delta I_{m\text{вых}} &= h_{21} \Delta I_{m\text{вх}} + h_{22} \Delta U_{m\text{вых}} \end{aligned} \right\}$$

где $h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{m\text{вх}}}{\Delta U_{m\text{вых}}} \right|_{I_{m\text{вх}} = \text{const}}$ - входное сопротивление;

$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{m\text{вх}}}{\Delta U_{m\text{вых}}} \right|_{I_{m\text{вх}} = \text{const}}$ - коэффициент обратной связи по напряжению;

$h_{22} = \frac{\Delta I_{m\text{вых}}}{\Delta U_{m\text{вых}}}$ при $U_{m\text{вх}} = \text{const}$ - коэффициент передачи по току;

$h_{22} = \frac{\Delta I_{m\text{вых}}}{\Delta U_{m\text{вых}}}$ при $I_{m\text{вх}} = \text{const}$ - выходная проводимость

$U_{m\text{вх}}$ и $U_{m\text{вых}}$ - амплитуды входного и выходного напряжения, В

$I_{m\text{вх}}$ и $I_{m\text{вых}}$ - амплитуды входного и выходного тока, А

Порядок выполнения работы

1 В выбранном масштабе начертите из справочника статические входные и выходные характеристики заданного транзистора, включенного с ОЭ.

2 Определить h-параметры для схемы с ОЭ

2.1 Параметры $h_{11\text{э}}$ и $h_{12\text{э}}$ определить по входным характеристикам в рабочей точки О (рис.9, а) по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{\text{бэ}} &= h_{11} \Delta I_{\text{б}} + h_{12} \Delta U_{\text{кэ}} \\ \Delta I_{\text{бэ}} &= h_{21} \Delta I_{\text{б}} + h_{22} \Delta U_{\text{кэ}} \end{aligned} \right\}$$

2.2 Параметры $h_{11\text{э}}$ и $h_{12\text{э}}$ определить по входным характеристикам в рабочей точки О (рис.9, а) по формулам:

$$\begin{aligned} h_{11\text{э}} &= \left. \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{б}}} \right|_{U_{\text{кэ}} = \text{const}} = \frac{U_{\text{бэА}} - U_{\text{бэВ}}}{I_{\text{бА}} - I_{\text{бВ}}} \\ h_{12\text{э}} &= \left. \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_{\text{кэ}}} \right|_{I_{\text{б}} = \text{const}} = \frac{U_{\text{бэО}} - U_{\text{бэС}}}{I_{\text{кэО}} - 0} \end{aligned}$$

Примечание: следует помнить, что приращения $\Delta U_{\text{бэ}}$ и $\Delta U'_{\text{бэ}}$, в общем случае различны.

2.3 Параметры $h_{11э}$ и $h_{12э}$ определить по входным характеристикам в рабочей точки О (рис.1, а) по формулам:

$$h_{21э} = \left. \frac{\Delta I_k}{\Delta I_{6 U_{кэ} = const}} \right| = \frac{I_{kA} - I_{kB}}{I_{64} - I_{62}}$$

$$h_{22э} = \left. \frac{I'_K}{\Delta U_{кэ I_6 = const}} \right| = \frac{I_{kD} - I_{kC}}{I_{кэ D} - I_{кэ C}}$$

Примечание: Следует помнить, что приращения ΔI_k и I'_k различны, т.к. определяются при разных условиях.

3. Определите h -параметры для схемы с ОБ.

Между h -параметрами транзистора для схемы с ОБ и ОЭ существует следующая взаимосвязь:

$$h_{21э} \approx \frac{h_{21б}}{1 + h_{21б}}$$

$$h_{22э} \approx \frac{h_{22б}}{1 + h_{21б}}$$

$$h_{11э} \approx \frac{h_{11б}}{1 + h_{21б}}$$

$$h_{12э} \approx \frac{h_{11б} h_{22б}}{1 + h_{21б}}$$

Из данных формул необходимо выразить h -параметры транзистора для схемы с ОБ.

4. Определите физические параметры транзистора

Дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода $r_э$:

$$r_э = \frac{h_{12э}}{h_{22э}}$$

Объемное сопротивление базы $r_б$:

$$r_э = h_{11э} - \frac{h_{12э}(1 + h_{21э})}{h_{22э}}$$

Дифференциальное сопротивление коллекторного перехода $r_к$

$$r_к = \frac{1 + h_{21э}}{h_{22э}}$$

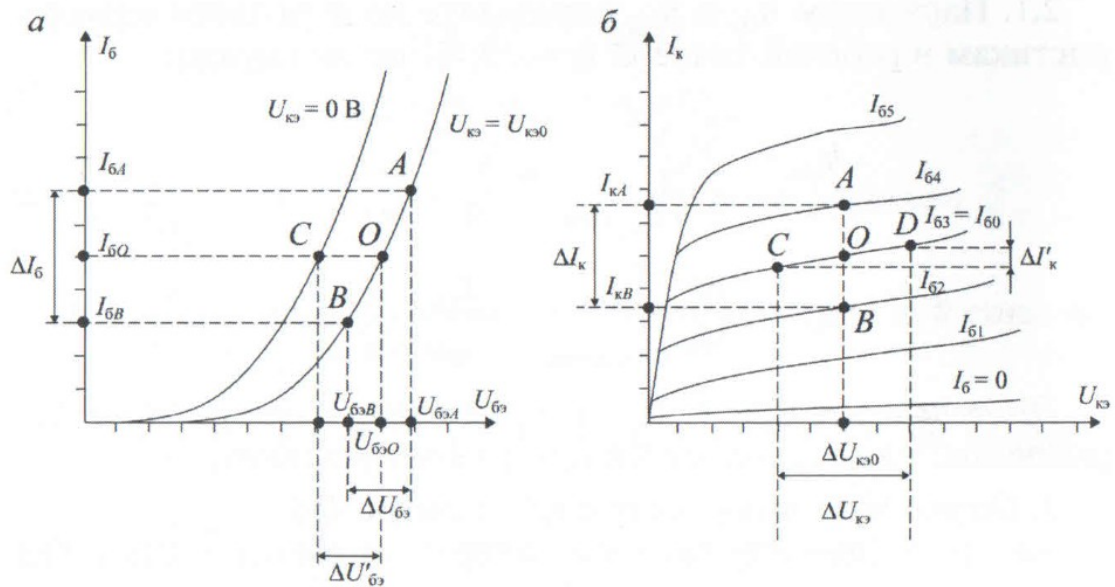


Рисунок 1 -Определение h-параметров транзистора по статическим характеристикам: а- входные характеристики, б- выходные характеристики

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Исходные данные (условие задач).
3. Графическое определение h-параметров транзистора по статическим характеристикам.
4. Расчет h-параметров транзистора.
5. Выводы о проделанной работе.

Практическая работа № 4

Исследование работы полевого транзистора

Цель работы: С помощью оборудования изучить и провести экспериментальные исследования полевых транзисторов. Построить семейство стоковых статических характеристик.

Оборудование: Лабораторный стенд «Физика»

Краткие теоретические сведения

Полевой транзистор - электронный полупроводниковый прибор, в котором электрический ток в выходной цепи протекает под действием продольного электрического поля. Управление величиной выходного тока осуществляется под действием поперечного электрического тока. По принципу действия полевые транзисторы делятся на:

1. С управляющим p-n переходом.
2. С изолированным затвором и индуцированным каналом.
3. С изолированным затвором и встроенным каналом.

Усилительные параметры полевых транзисторов:

- а) Крутизна стока затворной характеристики S [мА/В]. Она показывает насколько мА изменяется ток стока при изменении напряжения на затворе на 1В.
- б) Внутреннее дифференциальное сопротивление R_i [кОм].
- в) Статические коэффициенты усиления по напряжению μ [б/р] $= S \times R_i$.

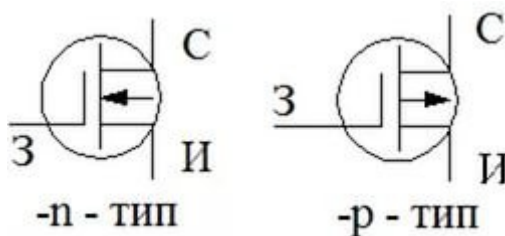


Рисунок 1 – УГО полевых транзисторов

Устройство полевого транзистора. Управляющий электрод полевого транзистора называется затвором. Канал может быть образован полупроводником с

любым типом проводимости. В зависимости от этого полярность управляющего напряжения может быть положительной или отрицательной. Поле соответствующего знака вытесняет свободные носители до тех пор, пока перешеек под электродом затвора не опустеет вовсе. Это достигается за счёт воздействия поля либо на р-n-переход, либо на однородный полупроводник. Ток становится равным нулю. Так работает полевой транзистор.

Ток протекает от истока к стоку, и у многих сразу же возникает вопрос, чем отличаются эти два электрода. Нет разницы, в каком именно направлении движутся заряды. Полевой транзистор обратим. Униполярность носителей заряда объясняет малый уровень шумов. Вот почему в технике полевые транзисторы занимают доминирующую позицию.

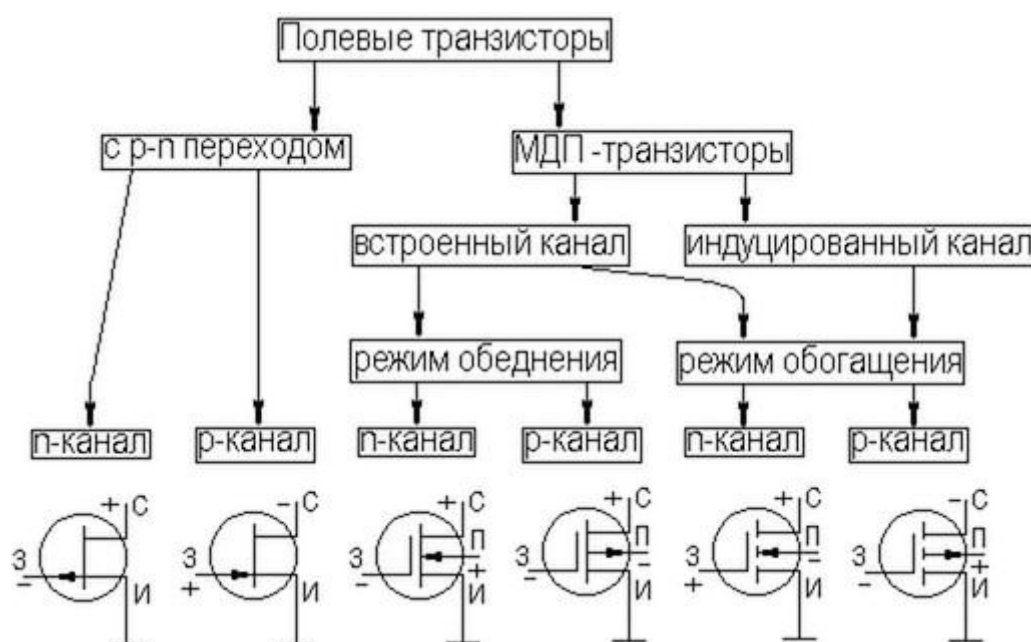


Рисунок 2 – Классификация полевых транзисторов

Полевые транзисторы бывают обедненного и обогащенного типа. К первым относятся все транзисторы с р-n-переходом и p-канальные МОП-транзисторы обедненного типа. МОП-транзисторы обогащенного типа бывают как n-канальными, так и p-канальными.

Работу n-канального МОП-транзистора можно пояснить так. Если на затвор подано отрицательное (относительно основания) напряжение, то электроны

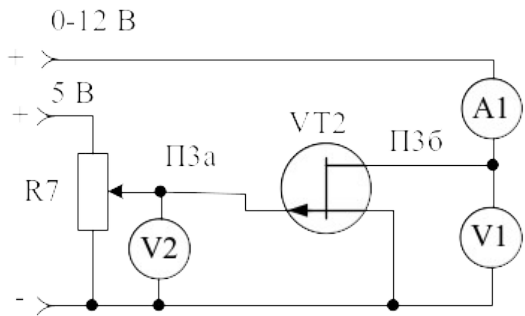
проводимости вытесняются из п-канала в основание, и проводимость канала уменьшается, вплоть до полного обеднения и запираания канала

Транзисторы обогащенного и обедненного типа отличаются только значением так называемого порогового напряжения, получаемого экстраполяцией прямолинейного участка характеристики.

Выходными характеристиками полевого транзистора называются зависимости тока стока от напряжения сток-исток для различных значений напряжения затвор-исток.

Порядок выполнения работы.

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места и со схемами.



- 2 Установить переключатель лабораторных работ ЛР в четвертое положение.

- 3 Регулятор R_0 , R_7 поставить в крайнее левое положение.

- 4 Переключатель ПЗ поставить в верхнее положение – исследование полевого транзистора.

- 5 Регулятором R_7 выставить 1 В на затворе по вольтметру V2.

- 6 Регулятором R_0 изменять напряжение на стоке $U_{ст}$ от 1 до 12 вольт фиксируя значения тока на стоке $I_{ст}$ амперметром A1, при разных значениях напряжения.

- 7 Тоже самое повторить при значениях напряжения на затворе $U_{зат}$ 1, 2, 3, 4, 5В на вольтметре V2.

- 8 Показания занесите в таблицу:

$U_{зат}=1В$		$U_{зат}=2В$		$U_{зат}=3В$		$U_{зат}=4В$	
$U_{ст}$	$I_{ст}$	$U_{ст}$	$I_{ст}$	$U_{ст}$	$I_{ст}$	$U_{ст}$	$I_{ст}$
						42	

- 9 По данным таблицы постройте семейство стоковых статических характеристик полевого транзистора.
- 10 Сформулируйте и запишите вывод о проделанной работе.

Содержание отчета.

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Таблица с результатами измерений.
- 4 График.
- 5 Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы.

- 1 Принцип действия полевого транзистора.
- 2 Перечислите усилительные параметры полевых транзисторов.
- 3 Из какого материала изготавливаются полевые транзисторы.
- 4 В чем отличие полевых транзисторов от биполярных.

Практическая работа №5

Исследование тиристора

Цель работы: С помощью оборудования изучить и провести экспериментальные исследования тиристоров.

Оборудование: Лабораторный стенд «Физика»

Краткие теоретические сведения

Тиристором называют полупроводниковый прибор, основу которого составляет четырехслойная структура, способная переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот. Тиристоры предназначены для ключевого управления электрическими сигналами в режиме открыт - закрыт (управляемый диод).

Простейшим тиристором является динистор – неуправляемый переключающий диод, представляющий собой четырехслойную структуру типа р-п-р-п. Здесь, как и у других типов тиристоров, крайние п-р-п-переходы называются эмиттерными, а средний р-п-переход – коллекторным. Внутренние области структуры, лежащие между переходами, называются базами. Электрод, обеспечивающий электрическую связь с внешней п-областью, называется катодом, а с внешней р-областью – анодом. Тиристор имеет два устойчивых состояния:

1- выключенное (в выключенном состоянии сопротивление тиристора между анодом и катодом стремится к бесконечности, ток через тиристор не протекает);

2- включенное (во включенном состоянии сопротивление тиристора между анодом и катодом стремится к 0 и через него протекает электрический ток).

Прибор, не содержащий управляющих электродов называется диодным тиристором или динистором.

Тиристоры, имеющие управляющий электрод, делятся на запираемые и незапираемые. Незапираемые тиристоры не могут быть переведены в закрытое состояние (что отражено в их названии) с помощью сигнала, подаваемого на управляющий электрод. Такие тиристоры закрываются, когда протекающий через них ток становится меньше тока удержания. На практике это обычно происходит в

конце полуволны сетевого напряжения. Такие приборы управляются напряжением, приложенным между основными электродами.

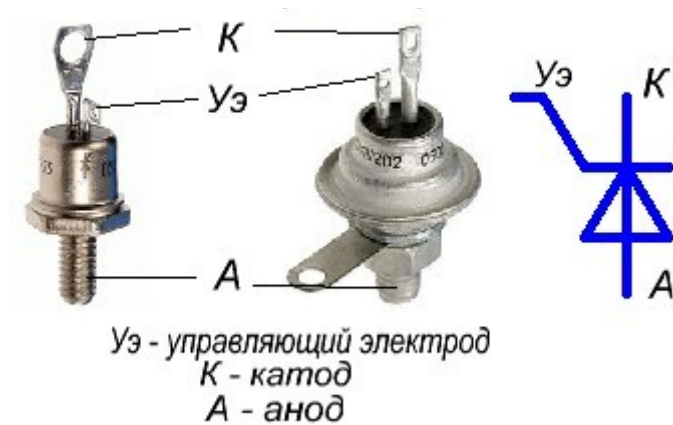


Рисунок 1 – Внешний вид и УГО тиристора

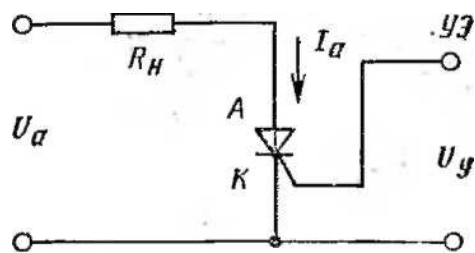


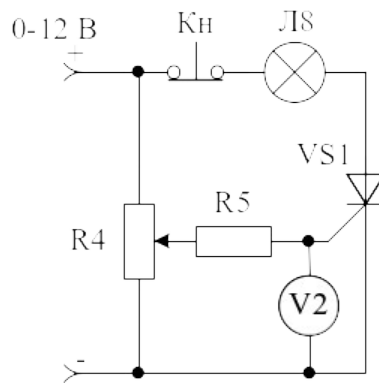
Рисунок 2 – Схема включения тиристора



Рисунок 3 – ВАХ тиристора

Порядок выполнения работы.

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места и со схемами.



- 2 Установить переключатель лабораторных работ ЛР в третьеположение
- 3 Начинаете плавно увеличивать напряжение регулятора R_0 , фиксируя вольтметром $V1$, при этом замечая, что лампочка Л8 не загорается.
- 4 Начинаете плавно увеличивать напряжение открытия тиристора регулятором $R4$, и фиксируя показания вольтметром $V2$.
- 5 Как только загорится лампочка зафиксировать значение $V2$ и записать в таблицу.

№	V1	V2	A1

- 6 Для повторения эксперимента регулятор $R4$ поставить в начальное левое положение, нажать на кнопку K_n , при этом лампочка Л8 потухнет.
- 7 Повторить эксперимент при значениях $V1$ - 8, 10, 12В. Показания занесите в таблицу.
- 8 Укажите значение напряжения при котором открывается тиристор.
- 9 Сформулируйте и запишите вывод о проделанной работе.

Содержание отчета.

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Таблица с результатами измерений.
- 4 Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы.

- 1 Принцип действия тиристора.
- 2 Классификация тиристоров
- 3 Динистор. Приведите его структуру. Параметры динистора
- 4 Тринистор. Приведите его структуру. В отличии от динистора, какой дополнительный параметр присутствует у тринистора.

Лабораторная работа № 3

Исследование работы фотоэлектрического прибора

Цель работы: С помощью оборудования изучить и провести экспериментальные исследования полевых фоторезистора. Построить график зависимости тока фоторезистора от напряжения питания источника света.

Оборудование: Лабораторный стенд «Физика».

Краткие теоретические сведения

Фоторезистор—полупроводниковый прибор, у которого сопротивление зависит от его освещенности.

Принцип работы фоторезистора основан на внутреннем фотоэффекте. Фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения. Действие основано на эффекте фотопроводимости. За счет собственного поглощения излучения происходит межзонный переход электронов. Он сопровождается ростом концентрации избыточных носителей электронов и дырок в зонах, вследствие чего увеличивается электропроводимость кристалла(фотопроводимость).

Световые энергетические характеристики(энергетические): с увеличением светового потока возрастает концентрация свободных носителей и вероятность их рекомбинации, поэтому рост фототока замедляется.

Параметры:

- а) Номинальное значение фототока.
- б) Темновой ток
- в) Интегральная токовая чувствительность.
- г) Удельная интегральная чувствительность.
- д) Вольтовая чувствительность.
- е) Фоточувствительность к монохроматическому излучению фоторезистора.
- ж) Инерционность.

Область применения: В устройствах фотоконтроля и фотоэлектронной автоматики, в качестве чувствительных элементов на входе приемников в системах оптической связи.

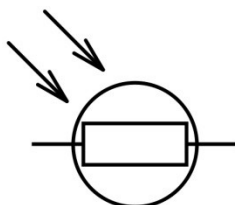


Рисунок 1- УГО фоторезистора

Основные характеристики фоторезисторов – спектральная, частотная, люкс-амперная и вольтамперная.

Спектральная характеристика отражает чувствительность фоторезистора при воздействии на него излучения определенной длины волны. Спектральная чувствительность фоторезистора зависит от полупроводникового материала. Так сернисто-кадмиевые фоторезисторы имеют максимальную чувствительность в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, селенисто-кадмиевые – в красной и ближней инфракрасной области, а сернисто-свинцовые в инфракрасной области спектра.

Частотная характеристика определяет чувствительность фоторезистора при действии на него светового потока, изменяющегося с определенной частотой. Наличие инерционности у фоторезисторов приводит к тому, что величина их фототока зависит от частоты модуляции падающего на них светового потока – с увеличением частоты светового потока фототок уменьшается. Инерционность ограничивает возможности применения фоторезисторов при работе с переменными световыми потоками высокой частоты.

Вольтамперная характеристика фоторезисторов показывает зависимость светового тока, протекающего через фоторезистор, от приложенного напряжения. Вольтамперная характеристика полупроводниковых фоторезисторов обычно линейна в широком интервале напряжений. Линейность нарушается только при очень малых напряжениях.

Люкс-амперная характеристика фоторезисторов показывает зависимость светового тока, протекающего через резистор, от освещенности. Люкс-амперная характеристика полупроводниковых фоторезисторов нелинейная и имеет область насыщения при больших освещенностях.

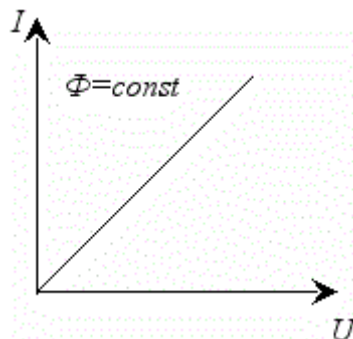
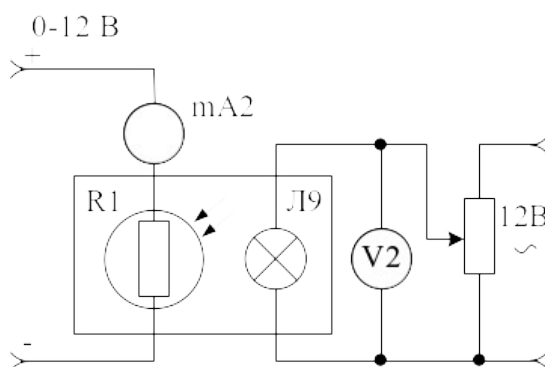


Рисунок 2- Вольтамперная характеристика(ВАХ) фоторезистора

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с оборудованием рабочего места и со схемами.



- 2 Установить переключатель лабораторных работ ЛР в пятое положение.
- 3 Регулятор R_0, R_8 поставить в крайне левое положение.
- 4 Увеличивая регулятором напряжение на лампочке Л9 фиксировать показания по вольтметру V3 и одновременно показания mA2.
- 5 Занести показания напряжения V3 и тока mA2 в таблицу:

V3	mA2

- 6 С увеличением напряжения лампочка Л9 в фотокамере будет ярче светиться.
- 7 Построить график зависимости тока фоторезистора mA от напряжения питания источника света Л9.
- 8 Сформулируйте и запишите вывод о проделанной работе.

Содержание отчета.

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Таблица с результатами измерений.
- 4 График.
- 5 Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы.

- 1 Принцип действия фоторезистора.
- 2 Основные параметры фоторезистора
- 3 Из какого материала изготавливают фоторезисторы.
- 4 Область применения.
- 5 В чем измеряется освещенность фоторезистора.

Практическая работа № 6

Графоаналитический анализ работы биполярного транзистора режима А

Цель работы: научиться строить нагрузочную прямую выходной цепи, определять рабочую точку на входных и выходных характеристиках и рассчитывать основные параметры режима покоя и режима усиления.

Оборудование и раздаточные материалы: калькулятор, индивидуальные задания, справочник

Исходные данные

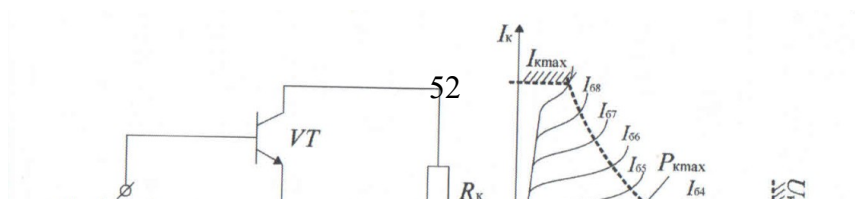
Исходные данные задает преподаватель в соответствии с таблицей 1

Таблица 1 Данные для расчета

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер рис.	15	16	17	15	16	17	15	16	17	15
Тип транзистора	МП25	ГТ122А	КТ501	МП25	ГТ122А	КТ501	МП25	ГТ122А	КТ501	ГТ122А
$E_k, В$	20	12	25	30	16	20	30	16	30	12
$R_k, кОм$	2	1	2,5	2	2	2	3	1,6	3,75	0,75
$I_{б0}, мА$	0,75	0,2	0,3	1,0	0,15	0,3	0,5	0,2	0,3	0,25
$I_{бm}, мА$	0,25	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,1	0,1	0,1

Краткие теоретические сведения

Во входной цепи усилительного каскада (рисунок 1, а) включены: источник постоянного напряжения $U_{б0}$ (определяющий исходный рабочий режим, т.е рабочую точку) и переменное напряжение $U_{бm} \sin \omega t$ усиливаемого сигнала. В выходной цепи действует источник постоянного напряжения E_k и включена нагрузка R_n .



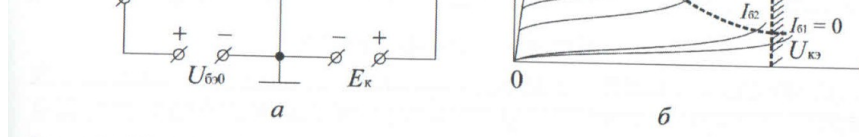


Рисунок 1- Усилитель на транзисторе с ОЭ: а-упрощенная схема усилителя на транзисторе с ОЭ, б-рабочая область в семействе выходных характеристик транзистора

Режим работы транзистора выбирают в пределах рабочей области входных и выходных характеристик. В семействе выходных характеристик (рис. 14, б) эта область ограничена допустимыми значениями тока I_{kmax} напряжения U_{kmax} и параболической линией максимально допустимой мощностью P_{kmax} .

Исходный режим работы транзистора определяется выбором положения рабочей точки на нагрузочной характеристике. Для получения неискаженного усиления рабочая точка выбирается примерно в середине рабочего участка нагрузочной характеристики. Рабочий участок не должен выходить за пределы максимально допустимых значений I_{kmax} , U_{kmax} , P_{kmax} , а также той части нагрузочной характеристики, в пределах которой равным изменениям входного ΔI_b соответствуют равные изменения выходного тока ΔI_k .

Порядок выполнения работы

Пользуясь семейством статических входных и выходных характеристик заданного транзистора, включенного с ОЭ, для сопротивления нагрузки R_k и напряжения источника питания E_k выполните следующие задания.

1 Начертите схему подключения транзистора к источникам питания и источнику сигнала в нагрузочном режиме (рисунок 1,а).

2 Перечертите входные и выходные характеристики транзистора, указанного в вашем варианте.

3 По заданному напряжению источника питания коллекторной цепи E_K и сопротивлению нагрузки R_K на семействе выходных характеристик постройте нагрузочную прямую, используя уравнение для выходной цепи:

$$U_{KЭ} = E_K - I_K R_K.$$

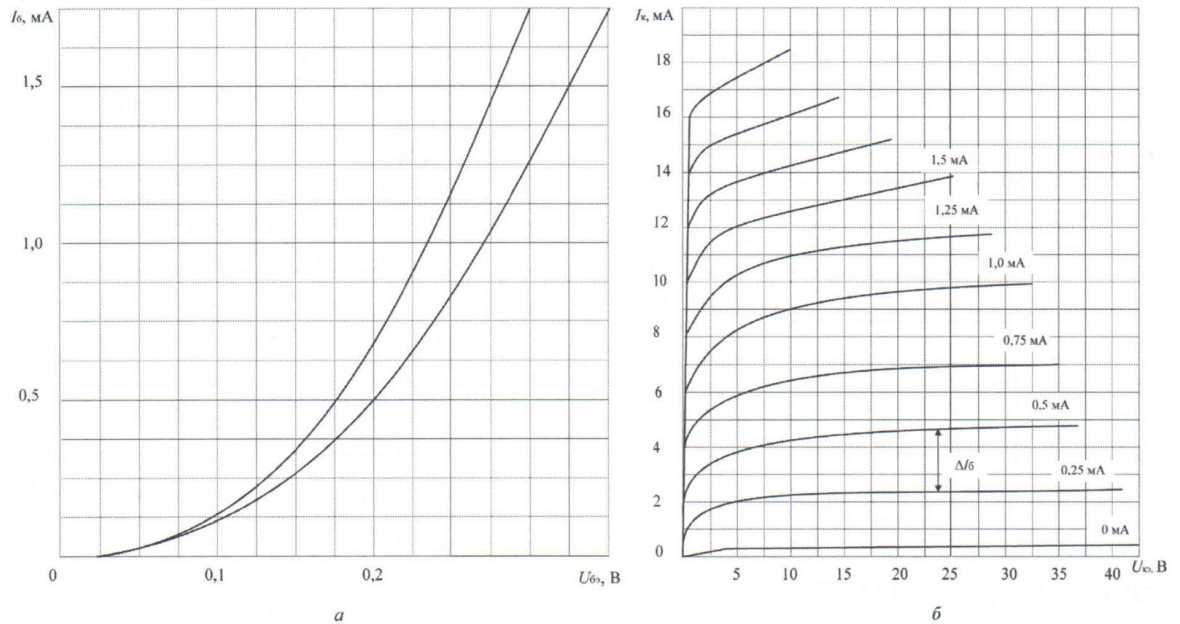


Рисунок 2 - Семейство характеристик транзистора МП25: а-входных, б-выходных

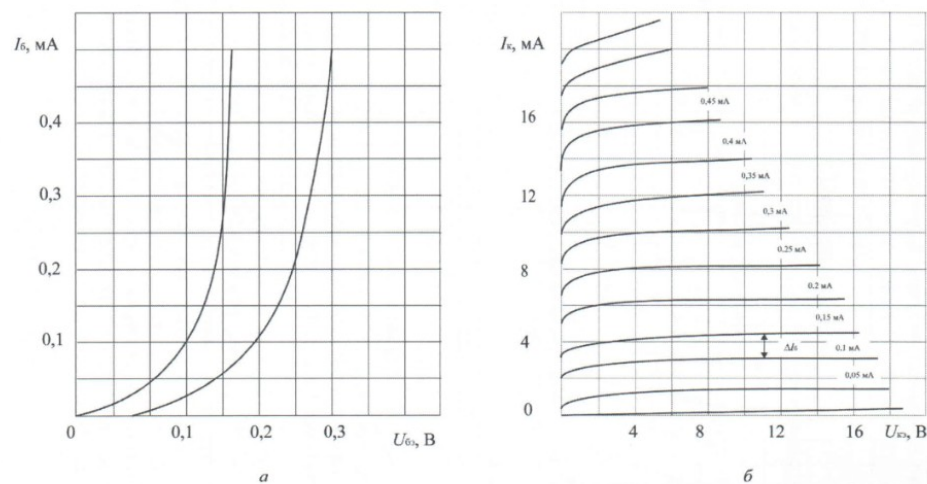


Рисунок 3 - Семейство характеристик транзистора ГТ122А: а-входных, б-выходных

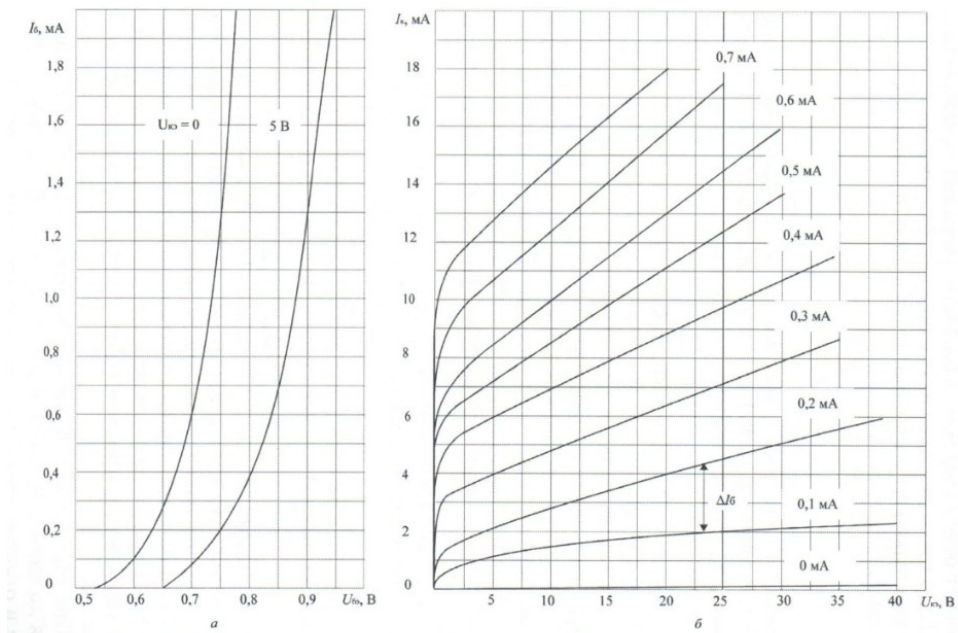


Рисунок 4 - Семейство характеристик транзистора КТ501: а-входных, б-выходных.

3.1 Определите координаты точек пересечения нагрузочной прямой с осями координат в семействе выходных характеристик.

3.2 В точке, лежащей на оси ординат, напряжение $U_{кз} = 0$, и следовательно из уравнения нагрузочной прямой ток I_k будет равен:

$$I_k = \frac{E_k}{R_k}.$$

Отметьте полученное значение на оси ординат (рисунок 5, б).

3.3 В точке, лежащей на оси абсцисс, ток $I_k = 0$, следовательно, из уравнения нагрузочной прямой напряжение $U_{кз}$ будет равно:

$$U_{кз} = E_k$$

Отмечаем полученное значение на оси абсцисс (рисунок 5, б).

3.4 Соедините точки на оси ординат E_k/R_k и на оси абсцисс E_k , получите нагрузочную прямую (рисунок 5, б).

4 На нагрузочной прямой отметьте рабочую точку, положение которой задается током покоя базы $I_{б0}$. Рабочая точка О лежит на нагрузочной прямой в месте пересечения её со статической характеристикой, снятой, например, при $I_{б4} = I_{б0}$ (рисунок 5, б).

5 Рассчитайте мощность, рассеиваемую на коллекторе в рабочем режиме по формуле:

$$P_{к0} = U_{кэ0} I_{к0}.$$

Для этого в рабочей точке определите координаты режима покоя: из точки О опускаем перпендикуляры на оси координат:

$$I_k = I_{к0}; U_{кэ} = U_{кэ0}.$$

6 В режиме усиления во входную цепь включается источник синусоидального сигнала $u_{вх}(t) = U_{бэм} \sin \omega t$. Амплитуда входного тока равна согласно исходным данным $I_{бм}$.

При положительной амплитуде сигнала ток базы увеличивается до значения, например, $I_{б5} = I_{б0} + I_{бм}$. Вычислите это значение и отметьте точку В на нагрузочной прямой (рисунок 5, б).

При отрицательной амплитуде сигнала ток базы уменьшается до значения, например, $I_{б5} = I_{б0} - I_{бм}$. Вычислите значение и отметьте точку А на нагрузочной прямой (рисунок 5, б).

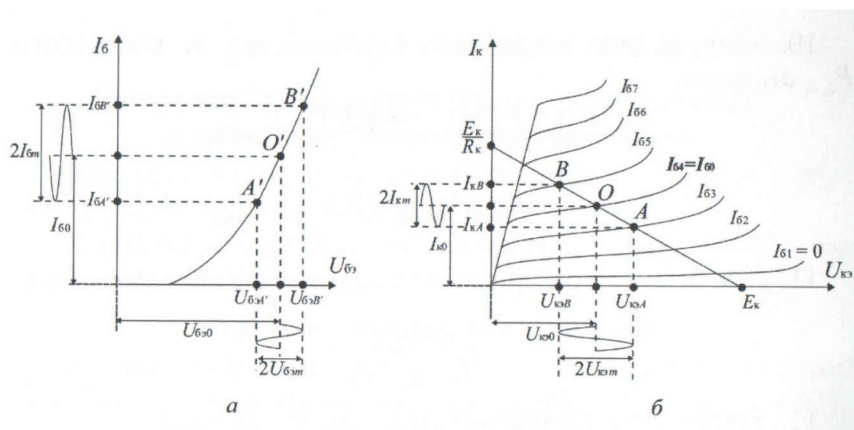


Рисунок 5 - Графическое представление работы транзистора в режиме А: а – на семействе входных характеристик, б – на семействе выходных характеристик.

7 Постройте график изменения тока коллектора слева от оси ординат. Для этого из точек А и В проведите горизонтальные прямые. Определите амплитуду изменения тока коллектора:

$$I_{км} = \frac{I_{кВ} - I_{кА}}{2}$$

8 Постройте график изменения напряжения коллектора ниже оси абсцисс. Для этого из точек А и В проведите горизонтальные прямые. Определите амплитуду изменения напряжения коллектора:

$$U_{кэм} = \frac{U_{кА} - U_{кВ}}{2}$$

9 На семействе входных характеристик (рисунок 5, а). Постройте график изменения входного тока слева от оси ординат. Входной ток изменяется в тех же пределах, т.е. от значения $I_{б0} - I_{бт}$ (точка А') до $I_{б0} + I_{бт}$ (точка В') относительно точка покоя $I_{б0}$ (точка О'). Определите амплитуду переменного напряжения на базе:

$$U_{бэм} = \frac{U_{бэА'} - U_{бэВ'}}{2}$$

10 Определите мощность входного $P_{вх}$ и выходного сигнала $P_{вых}$ сигнала:

$$P_{вх} = 0,5 I_{вхт} U_{вхт} = 0,5 I_{бт} U_{бэм},$$

$$P_{вых} = 0,5 I_{выхт} U_{выхт} = 0,5 I_{кт} U_{кэм}.$$

11 Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = \frac{U_{вых тэм}}{U_{вх тэм}} = \frac{U_{к}}{U_{б}}$$

12 Определите коэффициент усиления по току:

$$K_I = \frac{I_{вых т}}{I_{вх т}} = \frac{I_{кт}}{I_{бт}}$$

13 Найдите коэффициент усиления по мощности:

$$K_p = K_U \times K_I$$

14 Рассчитайте входное сопротивление:

$$R_{вх} = \frac{U_{вх тэм}}{I_{вх т}} = \frac{U_{б}}{I_{б т}}$$

15 Определите выходное сопротивление:

$$R_{вых} = \frac{U_{вых тэм}}{I_{вых т}} = \frac{U_{к}}{I_{кт}}$$

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Исходные данные.
- 3 Упрощенная схема усилителя на транзисторе с ОЭ.

- 4 Графическое представление работы транзистора в усилительном режиме.
- 5 Расчет основных параметров режима покоя и режима усиления.
- 6 Вывод о проделанной работе.

Практическая работа № 7

Расчет показателей структурных схем усилителей с различными видами обратных связей

Цель работы: рассчитать различные параметры и сигналы структурных схем с обратной связью (ОС).

Оборудование и раздаточные материалы: калькулятор, индивидуальные задания.

Краткие теоретические сведения

Передачу части энергии усиленных колебаний из выходной цепи усилителя во входную называют обратной связью (ОС).

Если колебания от источника входного сигнала складываются с сигналом ОС таким образом, что амплитуда колебаний на входе (и соответственно на выходе) усилителя увеличивается, то такая ОС называется положительной.

Если колебания от источника входного сигнала и сигнал ОС поступают на вход усилителя в противофазе, что приводит к уменьшению амплитуды колебаний на входе и выходе усилителя, то ОС будет отрицательной.

В зависимости от способа подачи сигнала ОС на вход усилителя различают последовательную и параллельную ОС. Если источник входного сигнала соединен последовательно с входом усилителя и выходом цепи ОС, то обратная связь — последовательная. В этом случае сигнал обратной связи $U_{\text{об}}$ подается на вход усилителя последовательно с входным сигналом $U_{\text{вх}}$ (рис. 19, а). Параллельную ОС имеем тогда, когда цепь ОС включается параллельно источнику входного сигнала (рис. 19, б).

По способу включения обратной связи на выходе усилителя различают ОС по напряжению и току. При ОС по напряжению выход усилителя, нагрузка и цепь ОС соединены параллельно друг другу (рис. 19, в). Если выход усилителя, нагрузка и цепь обратной связи соединены последовательно (рис. 19, г), то будем иметь обратную связь по току.

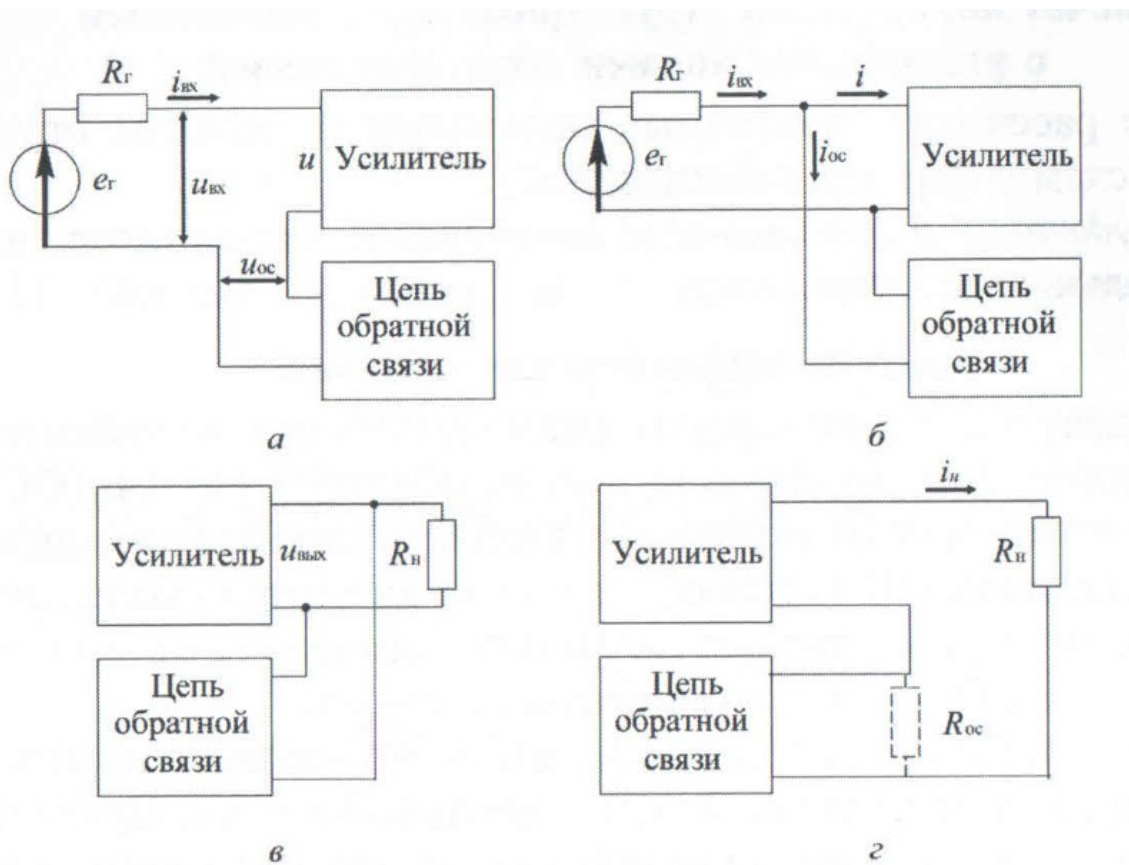


Рисунок 1 - Виды ОС: а — последовательная ОС; б — параллельная ОС; в — ОС по напряжению; г — ОС по току

Исходные данные

Для расчета параметров и сигналов усилителей с различными видами обратных связей, воспользуйтесь схемами, представленными на рисунке 2.

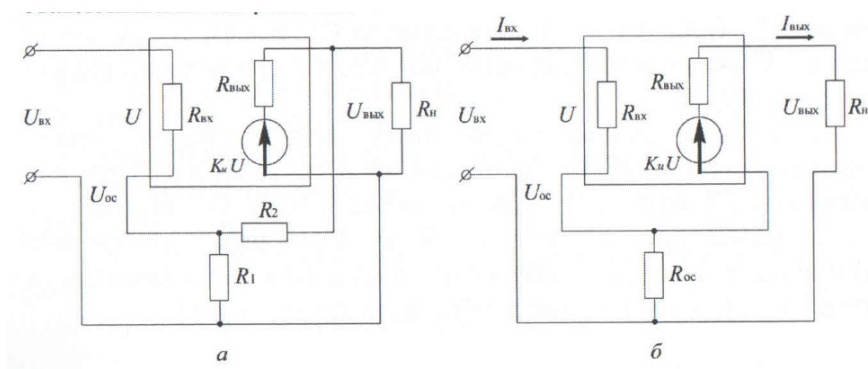


Рисунок 2 - Схемы для расчета последовательной ОС: а - по напряжению; б — по току

Порядок выполнения работы

1. Определите, во сколько раз уменьшается коэффициент усиления усилителя $K_u=200$ при охвате его последовательной отрицательной обратной связи (ООС) по напряжению в виде четырехполюсника с коэффициентом передачи $\beta = 0,05$ (рис. 2,а).

1.1. Для решения воспользуйтесь формулой:

$$K_{U_{oc}} = \frac{K_u}{1 + \beta K_u}$$

1.2. Определите отношение коэффициента усиления без ОС к коэффициенту усиления с ОС.

2. Определите напряжение на входе усилителя $U_{вх}=25$ В в схеме усилителя (рис.20,а). Коэффициент усиления усилителя без обратной связи $K_u=200$. Резисторы в цепи обратной связи $R_1=0,5$ кОм, $R_2= 10$ кОм.

2.1 Определите коэффициент передачи цепи ОС:

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

2.2 Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению с учетом ОС:

$$K_{U_{oc}} = \frac{K_u}{1 + \beta K_u}$$

2.3 Для определения напряжения на входе усилителя U воспользуйтесь формулой:

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

3. Определите напряжение на выходе усилителя $U_{вых}$ и коэффициент усиления с последовательной обратной связью (рис. 2, а), если на вход усилителя одновременно с входным сигналом $U_{вх}= 0,2$ В поступает напряжение обратной связи $U_{oc} = 0,1$ В, действующее в противофазе с входным. Коэффициент усиления усилителя без обратной связи $K_u=10$.

3.1. Определите напряжение на входе усилителя без учета ОС:

$$U = U_{вх} - U_{oc}.$$

3.2 Определите напряжение на выходе усилителя:

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U}$$

3.3 Рассчитайте коэффициент усиления с последовательной обратной связью $K_{U_{oc}}$:

$$K_{U_{oc}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

1. Определите, сигнал какой величины необходимо подать на вход усилителя $U_{\text{вх}}$, охваченного последовательной ООС (рис. 20, а) с $\beta = 0,05$, для того, чтобы получить на выходе усилителя сигнал $U_{\text{вых}} = 2$ В, если коэффициент усиления усилителя без обратной связи $K_u = 10$.

1.1. Для решения воспользуйтесь формулами:

$$K_{U_{oc}} = \frac{K_u}{1 + \beta K_u}$$
$$K_{U_{oc}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

2. Определите напряжение обратной связи U_{oc} , если при подключении последовательной ООС с коэффициентом передачи $\beta = 0,2$ (рис. 2, а) выходное напряжение усилителя стало равным $U_{\text{вых}} = 2$ В.

5.1. Для решения воспользуйтесь формулой:

$$\beta = \frac{U_{oc}}{U_{\text{вых}}}$$

3. Определить напряжение обратной связи U_{oc} , если при подключении цепи с отрицательной последовательной обратной связью коэффициент усиления усилителя ($K_u = 10$) уменьшился в два раза, а выходное напряжение стало равным $U_{\text{вых}} = 3$ В (рис. 2, а).

6.1 Определите коэффициент передачи цепи ОС.

$$K_{U_{oc}} = \frac{K_u}{1 + \beta K_u}.$$

4. Определите, чему равны $U_{\text{вых}}$, U , U_{oc} и $K_{U_{oc}}$, если на вход каскада усилителя, охваченного ООС (рис. 2, а), поступает сигнал $U_{\text{вх}} = 1$ В, коэффициент усиления усилителя $K_u = 60$, а коэффициент передачи цепи ОС

$$\beta = 0,07.$$

7.1. Определите коэффициент усиления по напряжению с учетом ОС:

$$K_{U\text{ос}} = \frac{K_u}{1 + \beta K_u}.$$

7.2. Рассчитайте напряжение на выходе усилителя, охваченного обратной связью:

$$K_{U\text{ос}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

7.3. Найдите напряжение на входе усилителя, без учета ОС:

$$U = U_{\text{вх}} - U_{\text{ос}}.$$

8. Определите входное $R_{\text{вхос}}$ и выходное $R_{\text{выхос}}$ сопротивления усилителя, если при подключении цепи последовательной ООС по напряжению (рис. 2, а) коэффициент усиления уменьшился в 10 раз. При отключенной цепи обратной связи сопротивления соответственно равны $R_{\text{вх}} = 10 \text{ кОм}$, $R_{\text{бблх}} = 500 \text{ Ом}$.

8.1. Для решения необходимо воспользоваться формулами:

$$K_{U\text{ос}} = \frac{K_u}{1 + \beta K_u}.$$

$$R_{\text{вхос}} = R_{\text{вх}} (1 + K_u \beta)$$

$$R_{\text{выхос}} = \frac{R}{1 + K_u \beta}$$

9. Определите выходное сопротивление усилителя $R_{\text{выхос}}$ (рис. 2, а), если выходное сопротивление при подключении цепи обратной связи увеличилось в 12 раз. Выходное сопротивление усилителя без обратной связи $R_{\text{вых}} = 360 \text{ Ом}$.

Для выполнения задания необходимо воспользоваться формулами, указанными в пункте 8.

10. Определите, какое сопротивление $R_{\text{ос}}$ необходимо включить в цепь обратной связи усилителя (рис. 2, а), работающего на нагрузку $R_{\text{н}} = 25 \text{ кОм}$, для получения коэффициента усиления $K_{\text{уос}} = 25$, если при отключенной цепи обратной связи коэффициент усиления $K_{\text{у}} = 125$.

10.1. Для решения воспользуйтесь формулами:

$$K_{Uoc} = \frac{K_u}{1 + \beta' K_u}$$

$$\beta' = \frac{R_{oc}}{R_h}$$

11. Определить входное $R_{вхос}$, и выходное $R_{вых ос}$ сопротивления усилителя, если при отключенной цепи обратной связи эти сопротивления равны $R_{вх} = 5$ кОм, $R_{вых} = 1$ кОм. Сопротивление нагрузки $R_n = 1$ кОм. При подключении цепи последовательной ООС по току (рис. 2, б) коэффициент усиления усилителя $K_u = 100$ уменьшился в 11 раз.

Для решения задачи необходимо воспользоваться формулами из пункта 10, а также ниже приведенными формулами:

$$R_{вхос} = R_{вх}(1 + K_u \beta')$$

$$R_{выхос} = R_{вых}(1 + K_u) + R_{ос}$$

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Исходные данные (условие задач)
- 3 Схемы для расчета последовательной ОС по напряжению и току.
- 4 Расчеты параметров.
- 5 Вывод о проделанной работе

Практическая работа № 8

Исследование работы каскада предварительного усиления

Цель работы: снять и проанализировать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) при различных параметрах элементов схемы.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ElectronicsWorkbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Для переменного тока эквивалентная схема (рисунок 1,а) резисторного каскада включает эквивалентную схему входной цепи усилительного элемента исследуемого каскада I, цепь межкаскадной связи II и эквивалентную схему входной цепи следующего каскада III. Усилительный элемент на эквивалентной схеме заменен эквивалентным генератором с э.д.с. $\mu U_{вх}$ и внутренним сопротивлением $r_{кб}$. Емкость C_0 на выходе эквивалентной схемы включает выходную емкость усилительного элемента, емкость монтажа C_m и входную емкость усилительного элемента следующего каскада $C_{вх}$, т.е. $C_0 = C_{вых} + C_m + C_{вх}$.

Параллельно включенные для переменных токов резисторы $\dot{R}_1$ и $\dot{R}_2$ делителя смещения на эквивалентной схеме представлены одним резистором:

$$\dot{R}_d = \dot{R}_1 \dot{R}_2 / (\dot{R}_1 + \dot{R}_2).$$

Резисторы r_b и $r_{бэ}$ в схеме представляют собой эквивалентные сопротивления базы и эмиттерного перехода транзистора следующего каскада

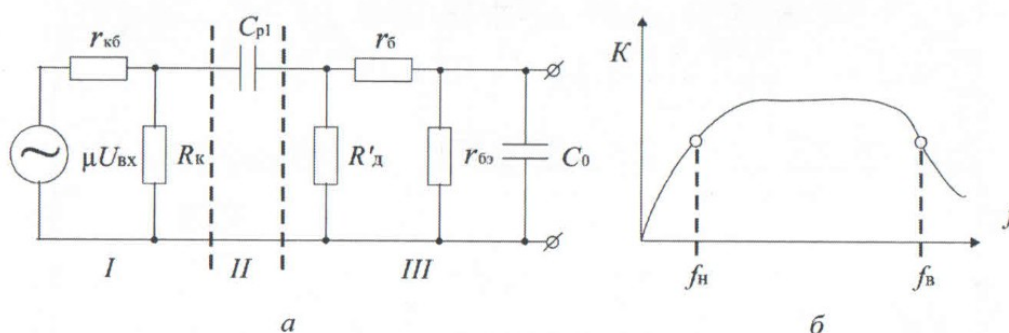


Рисунок 1 – Каскад предварительного усиления: а – эквивалентная схема резисторного каскада для переменного тока, б – его АЧХ

Элементы автосмещения и температурной стабилизации из эквивалентной схемы исключены, так как их влиянием можно пренебречь практически на всех частотах.

Частотная характеристика резисторного каскада с емкостной связью (рис.1,б) может быть разделена на три области: нижних, средних и верхних частот. В области нижних частот коэффициент усиления снижается (с уменьшением частоты) в основном из-за увеличения сопротивления конденсатора межкаскадной связи C_{p1} . Обычно низкочастотный диапазон ограничивается частотой f_n , на которой коэффициент усиления снижается до 0,7 среднечастотного значения, т.е. $K_n = 0,7 K_0$.

В области средних частот, составляющих основную часть рабочего диапазона усилителя, коэффициент усиления K_0 практически не зависит от частоты. В области верхних частот снижение усиления в основном обусловлено емкостью C_0 . Эту емкость всегда стремится свести к минимуму, чтобы ограничить через неё ток сигнала и обеспечить большее значение коэффициента усиления.

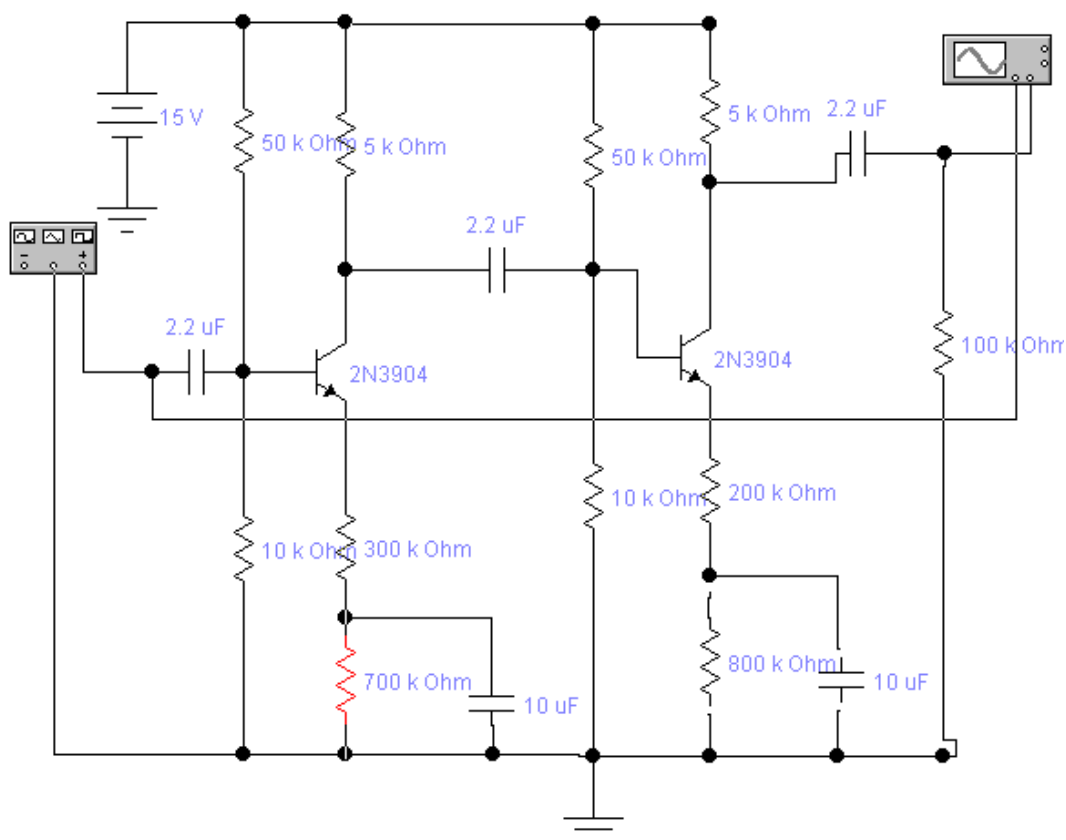
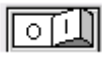


Рисунок 2- Электрическая схема для исследования каскада предварительного усилителя

Порядок выполнения работы

1 Соберите схему для исследования каскада предварительного усиления (рис. 2).

2 Кнопкой  включите схему.

3 Установите параметры входного сигнала на функциональном генераторе (Function Generator) как показано на рисунке 3.

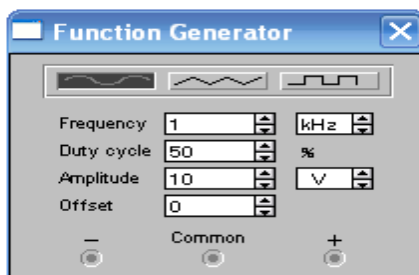


Рисунок 3 - Установка параметров входного сигнала на функциональном генераторе.

4 Измерьте амплитуды входного и выходного сигнала на осциллографе. Определите коэффициент усиления (рис. 4)

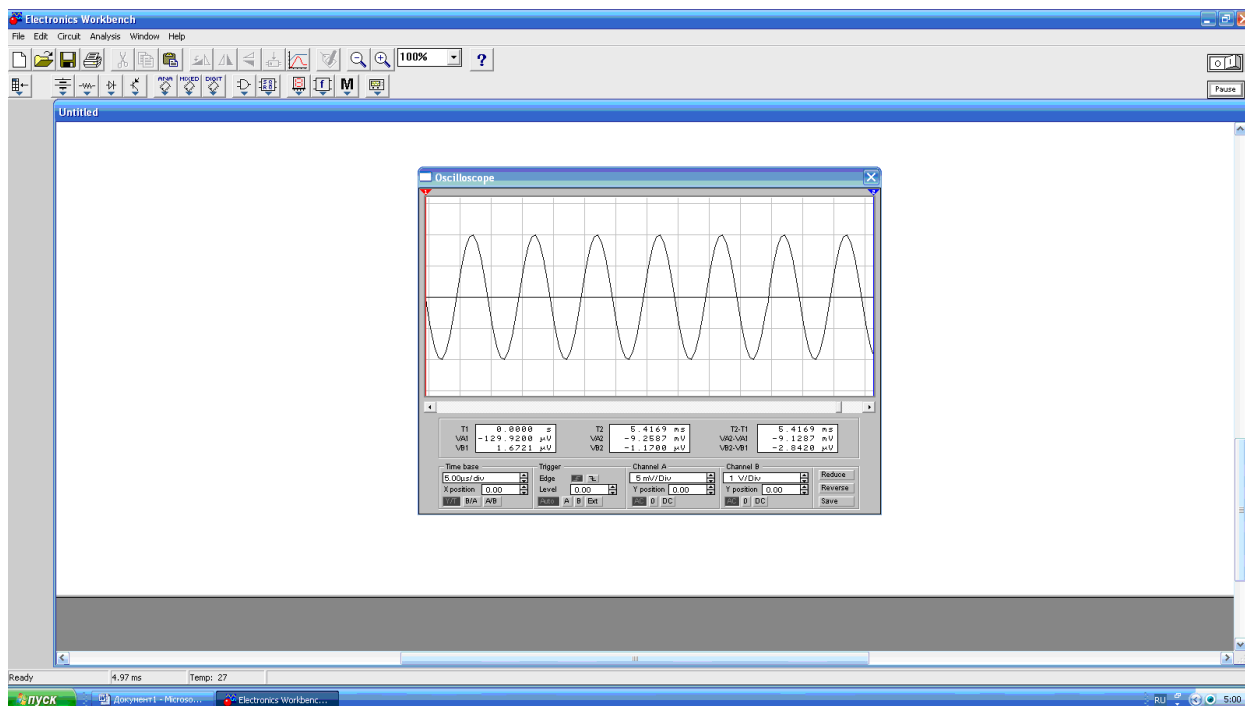


Рисунок 4 - Измерение амплитуды входного и выходного сигнала.

5Снимите амплитудно-частотные характеристики, с этой целью:

5.1На функциональном генераторе (рис.3.)установите значения частоты входного сигнала 100Hz (100Гц).

5.2С помощью кнопок установки чувствительности V/div (В/дел) и длительности развертки для каждого канала установите значения удобные для измерения амплитуды.

5.3Измерьте амплитуду входного и выходного сигнала, результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1-Результаты измерений и вычислений

Частота , F,кГц	0.1	0. 2	0.3	0.4	0. 5	100	300	500	700	90 0	1000
U _{вх} , мВ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
U _{вых} , В											
K _u											

6 Аналогично измерьте выходной сигнал для других частот входного сигнала согласно таблице 1.

7Определите коэффициент усиления для каждой частоты.

8 Постройте график амплитудно-частотной характеристики усилителя $K_u=f(f)$.

9Сделайте выводы, поясняющие ход АЧХ усилителя.

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Оборудование и приборы.
- 3 Таблица с результатами измерений.
- 4 АЧХ при различных параметрах элементов схемы, построенные в одной системе координат.
- 5 Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Объяснить назначения усилителя.
- 2 Назовите назначения всех элементов принципиальной схемы усилителя.
- 3 Объяснить причины появления частотных искажений в усилителе.
- 4 Поясните, из каких соображений выбирают значения емкостей конденсаторов вспомогательных цепей.
- 5 Укажите, как по частотной характеристики определить нижнюю и верхнюю граничные частоты и полосу пропускания при заданных частотных искажениях.
- 6 Дайте определения динамическому диапазону усилителя и поясните, как он определяется.

Практическая работа № 9

Исследование работы фазоинверсного каскада

Цель работы: оценить влияние сопротивлений нагрузок на величины выходных напряжений.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Фазоинверсными называют каскады с несимметричным входом и симметричным относительно общего провода выходом. Для выполнения этого требования инверсные каскады имеют два выхода, с которых снимают равные по амплитуде, но сдвинутые по фазе на 180° напряжения. Инверсные каскады используются для перехода от несимметричных одноктактных каскадов к двухтактным, а также для передачи сигнала от одноктактных каскадов к симметричной нагрузке.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему для исследования фазоинверсного каскада (рисунок 1).

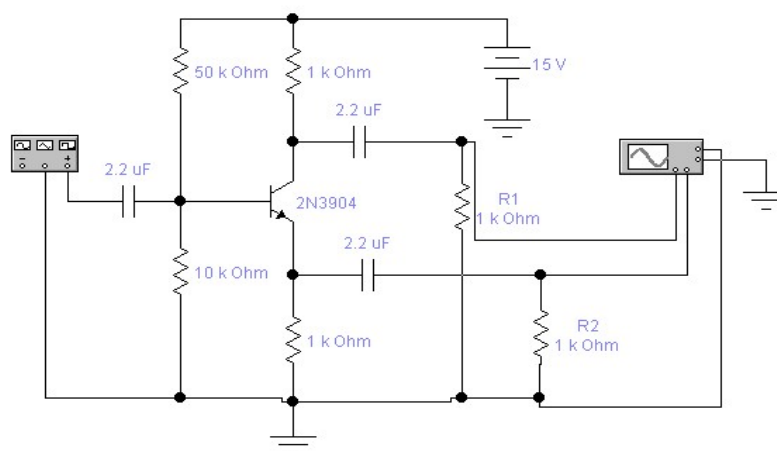


Рисунок 1- Схема для исследования фазоинверсного каскада

2. Установите параметры входного сигнала на функциональном генераторе (Function Generator) как показано на рисунке 2

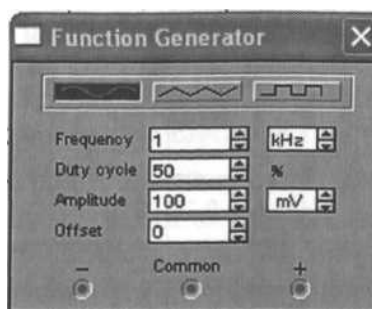


Рисунок 2 - Установка параметры входного сигнала на функциональном генераторе

3. Кнопкой  включите схему

4. В результате на осциллографе будет картина, показанная на рисунке 3.

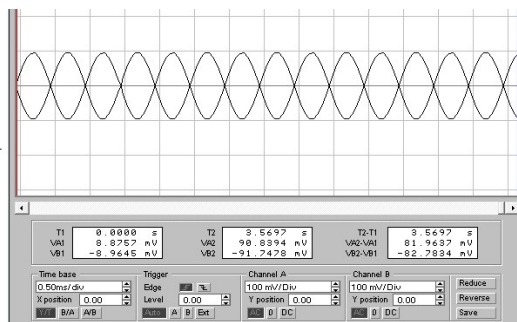


Рисунок 3- Измерение амплитуды и выходных сигналов на **нагрузках** R1 и R2

5. Изменяя сопротивление нагрузок R1 и R2, запишите амплитудные значения выходных сигналов на нагрузках соответственно $U_{\text{вых1}}$ и $U_{\text{вых2}}$ в таблицу 1

Таблица 1

R1, кОм	1	1	1	1	1	0,2	0,5	2	3	4	5
R2, кОм	0,2	0,5	1	2	3	1	1	1	1	1	1
$U_{\text{вых1}}$, В											
$U_{\text{вых2}}$, В											

6. Сделайте выводы о влиянии величин сопротивлений R_1 , R_2 на амплитуды выходных сигналов.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Поясните назначение фазоинверсных каскадов.
2. Перечислите виды фазоинверсных каскадов.
3. Укажите недостатки фазоинверсных каскадов с разделенной нагрузкой.
4. Объясните, от чего зависит входное сопротивление фазоинверсного каскада с разделенной нагрузкой
5. Поясните, от чего зависят коэффициенты усиления выходов фазоинверсного каскада с разделенной нагрузкой.

Практическая работа № 10

Исследование работы дифференциального каскада

Цель работы: снять и проанализировать амплитудные характеристики по различным входам.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: ElectronicsWorkbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Дифференциальным усилителем (ДУ) называется устройство, усиливающее разность двух напряжений. В идеале выходное напряжение такого усилителя пропорционально только разности напряжений, приложенных к двум его входам, и не зависит от их абсолютной величины. ДУ имеет две входные и две выходные шины. Он предназначен для усиления переменного и постоянного сигнала на фоне большого уровня помех.

Порядок выполнения работы

1 Соберите схему для исследования дифференциального каскада (рис. 1).

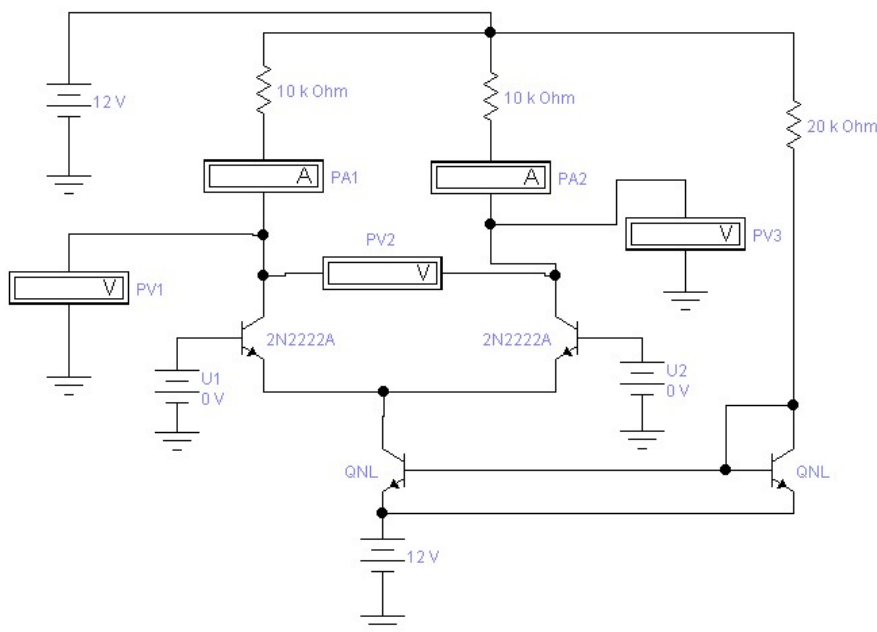


Рисунок 1- Схема для исследования дифференциального каскада

2 Определите коэффициент усиления дифференциального сигнала $K_{U_{диф}}$ из выражения:

$$U_{вых} = K_{U_{диф}}(U_{вх1} - U_{вх2}) + K_{U_{сф}}(U_{вх1} - U_{вх2})/2.$$

2.1 Для этого на входы усилителя $U_{вх1}$ (на схеме обозначен $U1$) и $U_{вх2}$ (на схеме обозначен $U2$) подайте одинаковое по величине, но разные по полярности напряжения, указанные в таблице 1.

2.2 Измерьте величины, указанные в таблице 1.

2.3 Рассчитайте коэффициент усиления дифференциального сигнала $K_{U_{диф}}$ по формуле:

$$K_{U_{диф}} = \frac{U_{вых}}{U_{вх.диф}} = \frac{U_{вых}}{U_{вх.1} - U_{вх.2}}.$$

2.4 Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

Номер	Измерено					Вычислено
	$U_{вх1} = - U_{вх2}$		$U_{вых},$ (PV2), В	$I_{к1},$ (РА1), мА	$I_{к2},$ (РА2), мА	$K_{U_{диф}}$
	$U_{вх1},$ (U1), мВ	$U_{вх2},$ (U2), мВ				
1	2	3	4	5	6	7
1	1	-1				
2	-1	1				
3	2	-2				

3 Определите коэффициент усиления синфазного сигнала $K_{U_{сф}}$ из выражения

$$U_{вых} = K_{U_{диф}}(U_{вх1} - U_{вх2}) + K_{U_{сф}}(U_{вх1} - U_{вх2})/2.$$

3.1 Для этого на входы усилителя подайте одинаковые по величине и полярности напряжения, указанные в таблице 1.

3.2 Измерьте величины, указанные в таблице 1.

3.3 Рассчитайте коэффициент усиления синфазного сигнала $K_{U_{сф}}$ по формуле:

$$K_{U_{сф}} = \frac{U_{вых}}{U_{вх.сф}} = \frac{U_{вых}}{(U_{вх.1} + U_{вх.2})/2}.$$

3.4 Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты измерений и вычислений

Номер опыта	Измерено					Вычислено
	$U_{BX1} = U_{BX2}$		$U_{ВЫХ},$ (PV2), В	$I_{K1}, (PA1),$ мА	$I_{K2}, (PA2),$ мА	$K_{Усф}$
	$U_{BX1}, (U1),$ мВ	$U_{BX2}, (U2),$ мВ				
1	2	3	4	5	6	7
1	1	1				
2	-1	-1				
3	2	2				

4Снимите амплитудную характеристику по первому входу: $U_{ВЫХ1} = f(U_{BX1})$.

4.1Для этого установите на источникенапряжения $U2 = 0$.

Таблица 3 - Результаты измерений

Номер опыта	$U_{BX1}, (U1),$ мВ	$U_{BX2}, (U2),$ мВ	$I_{K1}, (PA1),$ мА	$I_{K2}, (PA2),$ мА	$U_{ВЫХ}, (PV2),$ В
1	2	3			
1	-10	0			
2	-20	0			
3	-30	0			
4	-40	0			
5	-50	0			
6	-60	0			
7	-70	0			
8	-80	0			
9	-90	0			
10	-100	0			
11	0	0			
12	10	0			
13	20	0			
14	30	0			
15	40	0			
16	50	0			
17	60	0			
18	70	0			
19	80	0			
20	90	0			
21	100	0			

4.2 Изменяя напряжение $U_{вх1}$, как указано в таблице 22, запишите показания приборов в данную таблицу.

5Снимите аналогично амплитудную характеристику по второму входу $U_{вых2} = f(U_{вх2})$ Результаты измерений занесите в таблицу 4.

Таблица 4 - Результаты измерений

Номер опыта	$U_{вх1}, (U1),$ мВ	$U_{вх2}, (U2),$ мВ	$I_{к1}, (PA1),$ мА	$I_{к2}, (PA2),$ мА	$U_{вых}, (PV2),$ В
1	2	3	4	5	6
1	0	-10			
2	0	-20			
3	0	-30			
4	0	-40			
5	0	-50			
6	0	-60			
7	0	-70			
8	0	-80			
9	0	-90			
10	0	-100			
11	0	0			
12	0	10			
13	0	20			
14	0	30			
15	0	40			
16	0	50			
17	0	60			
18	0	70			
19	0	80			
20	0	90			
21	0	100			

6По данным таблиц 3 и 4 постройте графики зависимостей $U_{вых1} = f(U_{вх1})$ и $U_{вых2} = f(U_{вх2})$ в разных системах координат. Проанализируйте и поясните графики зависимостей

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Оборудование и приборы.

- 3 Таблицы с результатами измерений и вычислений.
- 4 Графики зависимостей $U_{\text{вых1}} = f(U_{\text{вх1}})$ и $U_{\text{вых2}} = f(U_{\text{вх2}})$
- 5 Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение дифференциальному усилителю (ДУ).
- 2 Поясните, почему необходима высокая симметрия моста в дифференциальном каскаде.
- 3 Дайте определение синфазному напряжению.
- 4 Укажите требования, предъявляемые к коэффициенту синфазного и дифференциального сигналов.

Практическая работа № 11

Исследование схем устройств на операционном усилителе

Цель работы: проанализировать влияние резисторов в цепи обратной связи на коэффициенты усиления и выходные сигналы инвертирующего и неинвертирующего устройств на операционном усилителе.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Операционным усилителем (ОУ) называется усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и одноканальным выходом, с высоким коэффициентом усиления, а также большим входным и малым выходным сопротивлениями. Он почти всегда используется с внешней глубокой отрицательной обратной связью, определяющей его результирующие характеристики.

Операционные усилители выпускаются в виде полупроводниковых интегральных микросхем и применяются не только для выполнения математических операций, благодаря чему они получили свое название. Все чаще они используются в радиоэлектронных устройствах различного назначения. Этому способствует их низкая стоимость, близкая к стоимости отдельных транзисторов.

Порядок выполнения работы

1. Запишите паспортные данные ОУ (таблица 1).

Таблица 1- Паспортные данные операционного усилителя LM143

Эксплуатационные параметры		Тип исследуемого прибора
Обозначение в программе	Перевод на русский язык	Операционный усилитель LM143
1	2	3
Open-loop gain	Коэффициент усиления напряжения, K_U	200000
Input resistance (RI)	Входное сопротивление, Ом	2×10^6
Output resistance (RO)	Выходное сопротивление, Ом	75 Ом
Positive voltage swing (VSW+) B	Максимальное выходное напряжение положительной полярности, $+U_{\text{max}}$, В	21 В
Negative voltage swing (VSW-) B	Максимальное выходное напряжение отрицательной полярности, $-U_{\text{max}}$, В	-21 В
Input offset voltage (VOS)	Напряжение смещения нуля, $U_{\text{см}}$	0,001 В
Input bias current (IBS)	Входные токи, $I_{\text{вх}}$, А	8×10^{-8} А
Input offset current (IOS)	Разность входных токов, $I_{\text{вх}}$, А	2×10^{-8} А

2. Исследуйте инвертирующий усилитель на базе ОУ, для этого снимите амплитудные характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ при различных значениях $R_{\text{ос}}$ и R .

2.1. Соберите схему для исследования инвертирующего усилителя на базе ОУ (рис. 1).

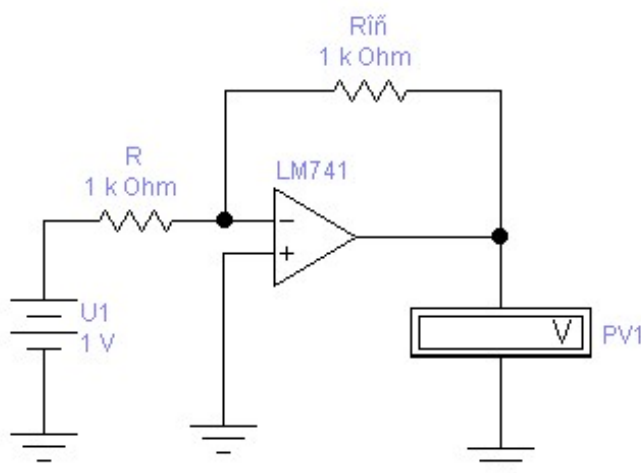


Рисунок 1 - Схема для исследования инвертирующего усилителя на базе ОУ

2.2. Установите значения сопротивлений R_{oc} и R согласно таблице 1, измерьте указанные в ней величины и занесите их в графу «Измерено».

2.3. Вычислите коэффициент усиления по формуле:

$$K_{инв} = \frac{R_{oc}}{R}$$

Результат запишите в графу «Вычислено».

2.4. Вычислите значения $U_{вых}$ по формуле $U_{вых} = U_{вх} K_{инв}$ для каждого значения $U_{вх}$. Результат запишите в таблицу 1.

2.5. Изменяя значения напряжения источника сигналов $U_{вх}$ (на рис. 1 обозначен как $U1$), запишите значения выходных сигналов $U_{вых}$ (показания вольтметра PV1) в таблицу 1.

2.6. Повторите измерения при других значениях R_{oc} и R , результаты запишите в соответствующие графы таблицы 1.

2.6. По результатам измерений постройте амплитудные характеристики $U_{вых} = f(U_{вх})$ при различных значениях R_{oc} и R в одной системе координат.

3. Исследуйте не инвертирующий усилитель на базе ОУ, для этого снимите амплитудную характеристику $U_{вых} = f(U_{вх})$ при различных значениях R_{oc} и R .

3.1. Соберите схему для исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ (рис. 2).

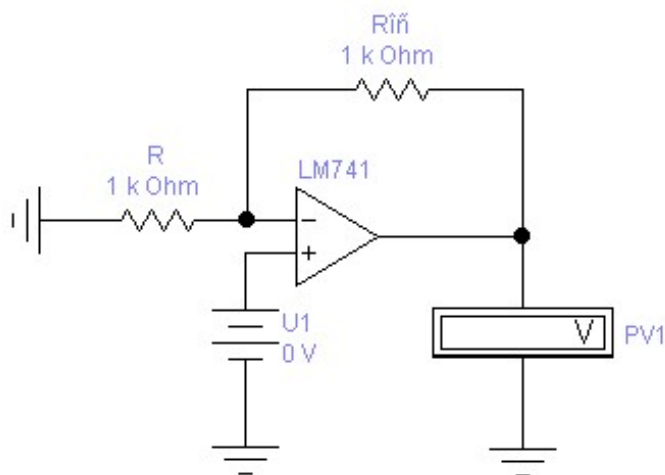


Рисунок2 - Схема для исследования неинвертирующего усилителя на базе ОУ

Таблица 1

U _{вх} , В (U ₁)	R=1кОм, R _{ос} =2кОм			R=1кОм, R _{ос} =1кОм			R=1кОм, R _{ос} =0,5кОм		
	измерено		вычислено	измерено		вычислено	измерено		вычислено
	U _{вых} , В (PV1)	Кинв	U _{вых} , В	U _{вых} , В (PV1)	Кинв	U _{вых} , В	U _{вых} , В (PV1)	Кин в	U _{вых} , В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0									
0,5									
1,0									
1,5									
2,0									
2,5									
3,0									
3,5									
4,0									
4,5									
5,0									

Таблица 2

U _{вх} , В (U ₁)	R=1кОм, R _{ос} =2кОм			R=1кОм, R _{ос} =1кОм			R=1кОм, R _{ос} =0,5кОм		
	измерено		вычислено	измерено		вычислено	измерено		вычислено
	U _{вых} , В (PV1)	Кинв	U _{вых} , В	U _{вых} , В (PV1)	Кинв	U _{вых} , В	U _{вых} , В (PV1)	Кин в	U _{вых} , В
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0									
0,5									
1,0									
1,5									
2,0									
2,5									
3,0									
3,5									
4,0									
4,5									
5,0									

3.2. Установите значения сопротивлений R_{ос} и R согласно таблице 2, измерьте указанные в ней величины и занесите их в графу «Измерено».

3.3. Вычислите коэффициент усиления по формуле:

$$K_{\text{нелнв}} = 1 + \frac{R_{\text{ос}}}{R}$$

Результат запишите в графу «Вычислено» таблицы 2.

3.4. Вычислите значения U_{вых} по формуле $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} K_{\text{нелнв}}$ для каждого значения U_{вх}. Результат запишите в графу «Вычислено» таблицы 2

3.5. Изменяя значения напряжения источника сигналов $U_{вх}$ (на рис. 2 обозначен как U_1), измерьте и запишите значения выходных сигналов $U_{вых}$ (показания вольтметра PV1) в таблицу 2.

3.6. По результатам измерений постройте амплитудные характеристики $U_{вых}=f(U_{вх})$ при различных значениях $R_{ос}$ и R в одной системе координат.

4. Проанализируйте и поясните ход графиков зависимостей $U_{вых}=f(U_{вх})$ для различных усилителей.

5. Сделай те вывод о расхождении измеренных и вычисленных значений $U_{вых}$.

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Графики зависимостей $U_{вых} = f(U_{вх})$.
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение операционному усилителю (ОУ).
2. Перечислите каскады, входящие в ОУ.
3. Перечислите свойства идеального ОУ.
4. Дайте определение напряжению смещения ОУ.
5. Укажите причину появления входных токов смещения.

Практическая работа № 12

Расчет элементов и параметров схем функциональных узлов на операционном усилителе

Цель работы: рассчитать элементы и параметры схем функциональных узлов на операционном усилителе на примере схемы суммирования при подаче сигналов на оба входа ОУ

Оборудование и раздаточный материал: калькулятор, индивидуальные задание.

Исходные данные

Исходные данные для решения задает преподаватель в соответствии с рисунком 1 и таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Номер варианта	R_1 кОм	R_2 кОм	R_3 кОм	R_4 кОм	R_{oc} кОм	U_1 В	U_2 В	U_3 В	U_4 В
1	0,5	3	1	2	5	3	-1	4	-2

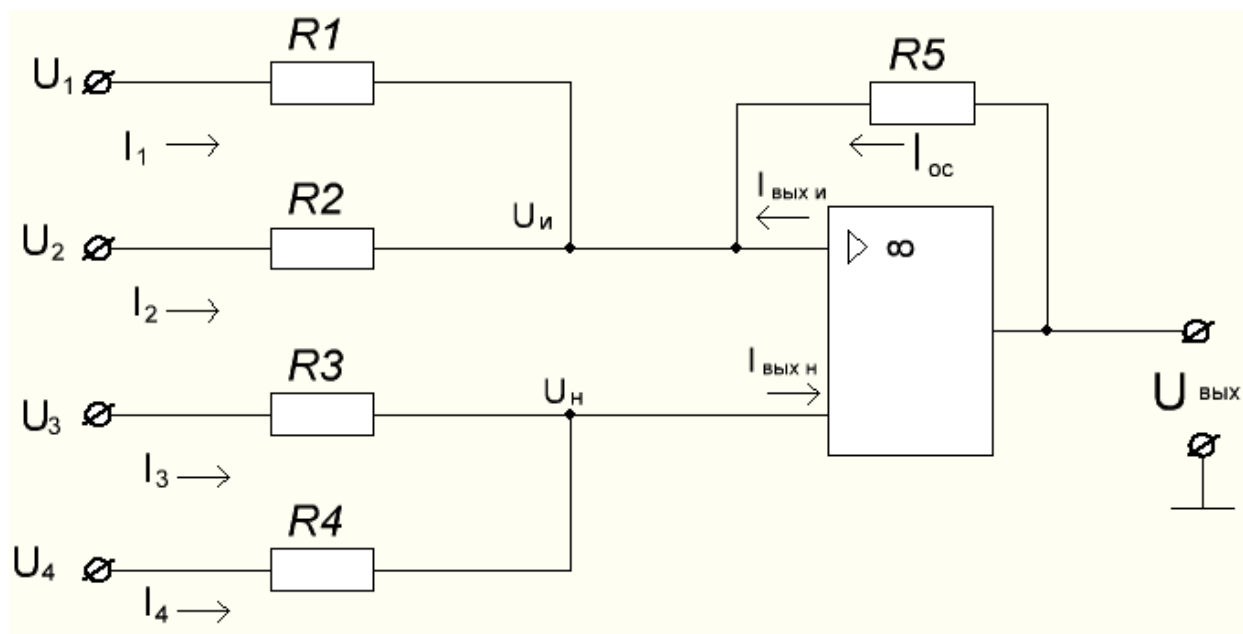


Рисунок 1 - Схема суммирования при подаче сигналов на оба входа ОУ

Краткие теоретические сведения

В практических схемах операционный усилитель охватывается цепью ОС, включаемой между выходом и входом. Сопротивление цепи ОС может быть активным или комплексным.

При расчете схем на основе ОУ, охваченных ОС, считается что удовлетворяют два основных требования, предъявляемые к интегральным ОУ: бесконечно большие коэффициент усиления и входное сопротивление. Ввиду бесконечно большого коэффициента усиления ОУ значение дифференциального напряжения на его входах можно считать равным нулю, т.е. потенциалы инвертирующего и не инвертирующего входов такого ОУ оказываются одинаковыми. Бесконечно большое, входное сопротивление ОУ позволяет пренебречь его входными токами.

Порядок выполнения работы

1. На инвертирующий вход поданы сигналы U_1 , U_2 через резистор R_1, R_2 соответственно. Определить $U_{\text{вых}}$ при заданном значении $R_{\text{ос}}$ (рис.1)

Решение рассмотри на конкретном примере

1.1. Определите напряжения на входах ОУ $U_{\text{н}} = U_{\text{н}}$,

Решение удобно начинать с рассмотрения нижней части схемы, т.е. сигналов, поданных на не инвертирующий вход.

Напряжение на не инвертирующем входе равно:

$$U_{\text{н}} = U_3 - U_{R3},$$

Где U_3 – напряжение на третьем входе схемы, В.

U_{R3} – напряжение на резисторе R_3 , В.

$$U_{R3} = I_3 R_3$$

где I_3 – ток, протекающий через резистор R_3 , А.

С другой стороны, напряжение на не инвертирующем входе:

$$U_{\text{н}} = U_4 - U_{R4}$$

где U_4 – напряжение на четвертом входе схемы, В

U_{R4} – напряжение на резисторе R_4 , А

$$U_{R3} = I_4 R_4$$

где I_4 – ток, протекающий через резистор R_4 , А

Считая операционный усилитель идеальным, можно записать:

$$I_3 + I_4 = I_{\text{вх и}} = 0$$

где $I_{\text{вх и}}$ – ток на не инвертирующем входе ОУ, А

Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} U_n = U_3 - I_3 R_3 \\ U_n = U_4 - I_4 R_4 \\ I_3 + I_4 = 0 \end{cases}$$

Подставим в систему исходные данные;

$$\begin{cases} U_n = 4 - 1 \cdot 10^3 I_3 \\ U_n = -2 - 2 \cdot 10^3 I_4 \\ I_3 + I_4 = 0 \end{cases}$$

1.1. Решаем систему относительно $I_3 : I_3 = -I_4$

Подставим вместо I_3 коэффициент I_4 получим:

$$\begin{cases} U_n = 4 + 1 \cdot 10^3 I_4 \\ U_n = -2 - 2 \cdot 10^3 I_4 \\ I_3 + I_4 = 0 \end{cases}$$

Приравняем первые два уравнения системы для U_n и найдем значение тока I_4 :

$$4 + 1 \cdot 10^{-3} I_4 = -2 - 2 \cdot 10^3 I_4$$

$$I_4 = \frac{-6}{3 \cdot 10^3} = -2 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

1.2. Находим U_n :

$$U_n = 4 + 1 \cdot 10^{-3} (-2) = 2 \text{ В.}$$

Следовательно: $U_u = 2 \text{ В.}$

Напряжения на инвертирующем входе можно найти по формулам:

$$U_u = U_1 - I_1 R_1 \quad U_u = U_2 - I_2 R_2$$

$$U_u = U_{\text{вых}} - I_{\text{ос}} R_{\text{ос}}$$

где U_1, U_2 – напряжения на первом и втором входах соответственно, В.

I_1, I_2 – токи через резисторы R_1, R_2 соответственно, А.

$I_{\text{ос}}$ – ток через резистор $R_{\text{ос}}$, А.

Отсюда:

$$I_1 = \frac{U_n - U_1}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{2-3}{0,5*10^3} = -2*10^{-3} \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_u - U_2}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{2-(-1)}{3*10^3} = 1*10^{-3} \text{ A}$$

Для идеального операционного усилителя

$$I_1 + I_2 + I_{oc} = I_{вхл} = 0$$

где $I_{вхл}$ – ток на инвертирующем входе ОУ, А.

$$I_{oc} = -I_1 - I_2$$

$$I_{oc} = (2-1)*10^{-3} = 1*10^{-3} \text{ A}$$

$$U_{вых} = U_u + I_{oc} R_{oc}$$

$$U_{вых} = 2 - 1*10^{-3} * 5*10^3 = -3 \text{ (В)}$$

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Схема суммирования при подаче сигналов на оба входа ОУ
- 3 Результаты расчетов.
- 4 Выходы о проделанной работе.

Лабораторная работа № 4

Исследование схем генераторов LC на транзисторах

Цель работы: проанализировать влияние значения емкости и напряжения источника питания на частоту генерируемых колебаний.

Оборудование: Лабораторный стенд «Физика»

Краткие теоретические сведения

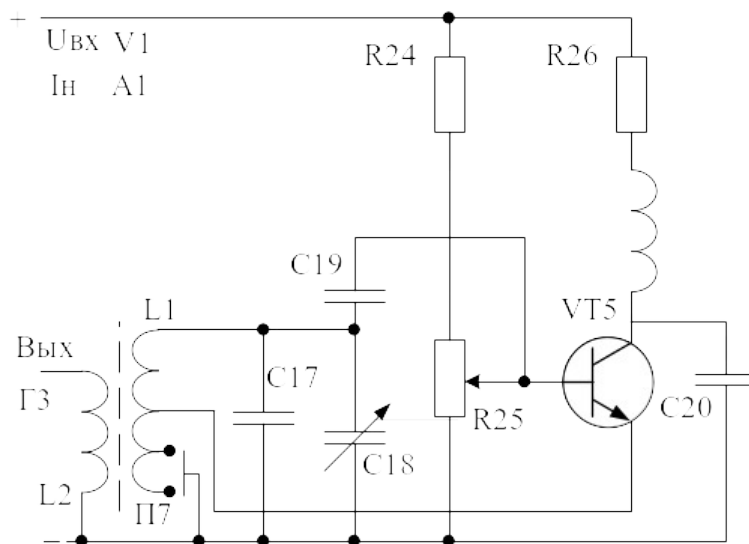
Электронными генераторами гармонических колебаний называют автоколебательные системы, в которых энергия источников питания постоянного тока преобразуется в энергию незатухающих электрических сигналов переменного тока требуемой частоты. Электрические сигналы, формируемые генератором, должны быть стабильным по частоте и амплитуде, синусоидальным по форме. По принципу действия различают генераторы с самовозбуждением (автогенераторы) и генераторы с внешним возбуждением.

Автогенераторы представляют собой резонансный усилитель (нагрузкой служит резонансный контур) с положительной обратной связью, в котором выполнено условие самовозбуждения. Если это условие выполняется только для одной частоты, то генерируемые колебания имеют синусоидальную форму, если для многих частот, то колебания имеют сложную форму.

Обычно это условие реализуется в генераторах релаксационных (несинусоидальных) колебаний -мультивибраторах, блокинг-генераторах и др.

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомьтесь с оборудованием рабочего места и со схемами



- 2 Установите переключатель лабораторных работ ЛР в шестое положение.
- 3 Подключите осциллограф к гнезду Г3 и изучив форму сигнала, измерьте выходное напряжения усилителя.
- 4 Подключить частотомер к гнезду Г3 вместо осциллографа и измерьте частоту генератора при крайних положениях конденсатора переменной ёмкости C18.
- 5 Зная частоту генератора при крайних положениях конденсатора переменной ёмкости 20 – 60 пФ и ёмкость C17 = 56 пФ, рассчитать индуктивность контура L1.

Содержание отчета

- 1 Номер, тема ,цель занятия.
- 2 Оборудование и приборы
- 3 Результаты измерений и вычислений
- 4 Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение электронному генератору гармонических колебаний.
- 2 Объясните, что входит в состав структурной схемы генератора, гармонических колебаний .

- 3 Поясните физическую сущность баланса амплитуд.
- 4 Поясните физическую сущность баланса фаз.
- 5 Перечислите основные схемы генераторов LC.
- 6 Укажите от, чего зависит частота генерируемых колебаний в генераторе LC.
- 7 Объясните , как достигается баланс амплитуд и фаз в исследуемом генераторе LC трансформаторной обратной связи.

Лабораторная работа № 5

Исследование схем генераторов RC на транзисторах

Цель работы: исследовать влияние параметров фазосдвигающей – цепи на частоту генерируемых колебаний.

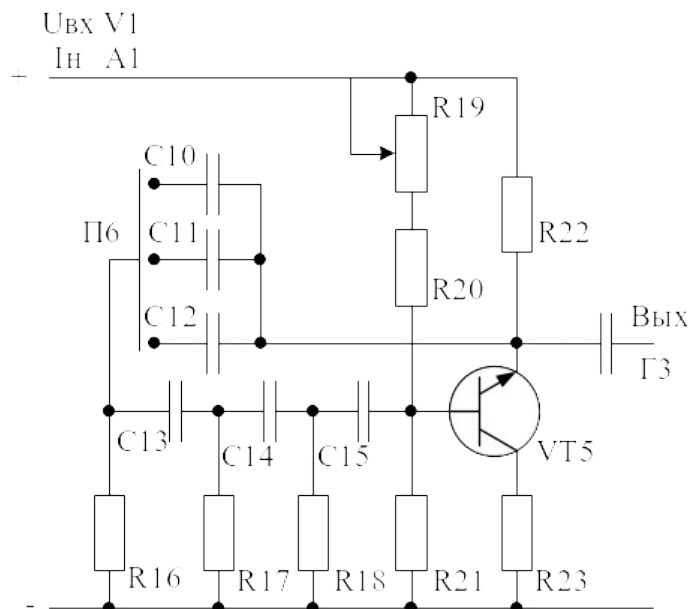
Оборудование: Лабораторный стенд «Физика»

Краткие теоретические сведения

На частотах менее 50 кГц вследствие увеличения требуемых значений L и C увеличиваются размеры катушек и конденсатора и одновременно ухудшается добротность колебательного контура и стабильность его параметров. Поэтому на низких частотах вместо LC–автогенераторов обычно используют RC–автогенераторы, которые в этом диапазоне частот, особенно в нижней его части, обладают существенными преимуществами.

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомьтесь с оборудованием рабочего места и со схемами.



- 2 Установите переключатель лабораторных работ ЛР в пятое положение.
- 3 Подключить осциллограф к гнезду ГЗ изучив форму сигнала, замерить выходное напряжения усилителя.

4 Подключить частотомер к гнезду Г3 вместо осциллографа и замерить частоту генератора при трёх положениях переключателя П6.

5 Зная частоту генератора и величину резисторов $R_{16}, R_{17}, R_{18} = 10\text{кОм}$, рассчитать ёмкость конденсаторов C_{13}, C_{14}, C_{15} .

Содержание отчета

1. Номер, тема ,цель занятия.
2. Оборудование и приборы
3. Результаты измерений и вычислений
4. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите преимущества RC генераторов перед LC – генераторами.
2. Перечислите виды фазосдвигающих RC- цепей.
3. Поясните, как достигается баланс амплитуд и фаз в RC – генераторах.

Практическая работа № 13

Исследование дифференцирующих и интегрирующих цепей

Цель работы: исследование работы дифференцирующих и интегрирующих цепей

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Электрическая цепь, напряжение на выходе которой пропорционально производной входного напряжения, называется дифференцирующей цепью. Эти цепи используются для следующих целей:

- укорочения длительности импульсов, т. е. для формирования импульсов остrokонечной формы (такие импульсы применяют для создания меток времени, запуска различных схем и т. д.);
- выполнения электрическим путем математической операции дифференцирования в электронных вычислительных машинах;
- селекции импульсов по длительности.

Интегрирующая цепь. Электрическая цепь, напряжение на выходе которой пропорционально интегралу входного напряжения, называется интегрирующей.

Такие цепи применяют для получения линейно изменяющихся напряжений и токов, для селекции импульсов по длительности, выполнения математической операции интегрирования, формирования длительных импульсов из коротких и т. д.

Порядок выполнения работы

1 Собрать интегрирующую цепь по схеме (рисунок 1)

2 Включить генератор импульсов и осциллограф. Установить на выходе генератора прямоугольные импульсы длительностью порядка 1 мкс.

3 Зарисовать осциллограмму импульсов на выходе генератора, измерить амплитуду и длительность импульсов

- 4 Подключить входные зажимы интегрирующей цепи к выходу осциллографа.
- Измерить амплитуду напряжения на выходе и длительность импульсов
- 5 Зарисовать полученную осциллограмму
- 6 Результаты измерений записать в таблицу 1

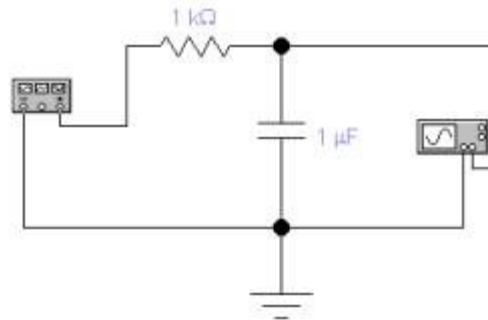


Рисунок 1 – Схема для исследования интегрирующей цепи

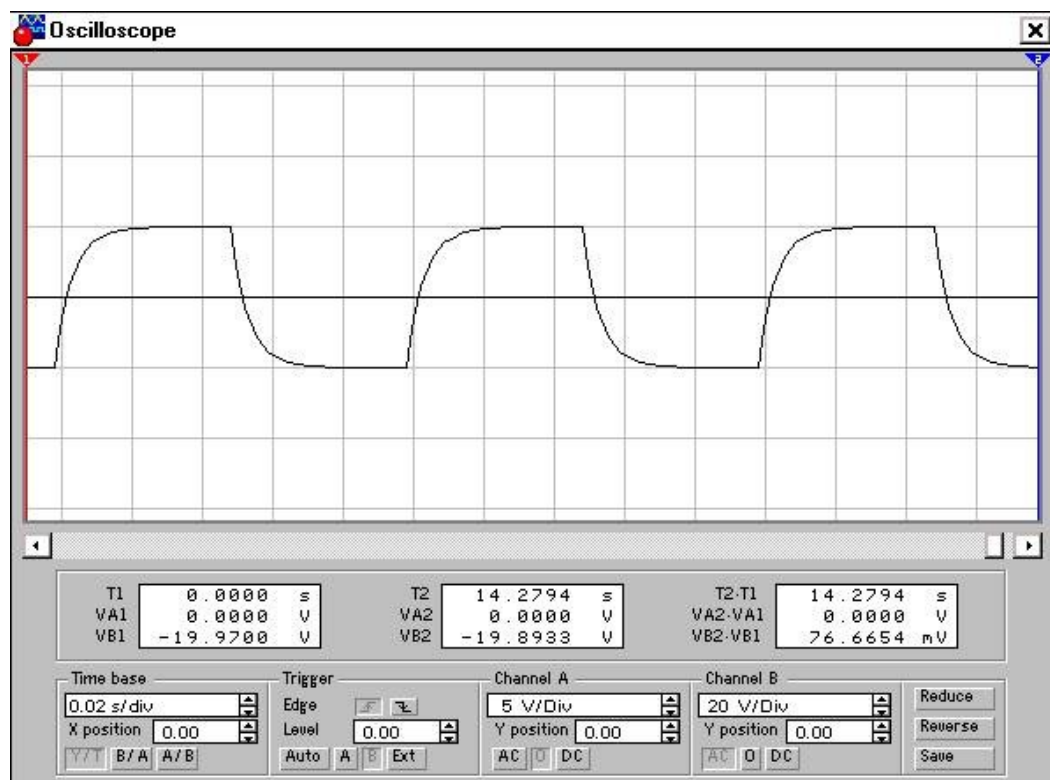


Рисунок 2– Сигнал на выходе интегрирующей RC – цепи

Таблица 1 - Интегрирующая цепь

R, кОм	C, мкФ	U _{ВХ} , В	t _{ВХ} , с	U _{ВЫХ} , В
9	1	3		
12	1	3		
18	1	3		
24	1	3		
27	1	3		
33	1	3		

7Собрать схему дифференцирующей цепи

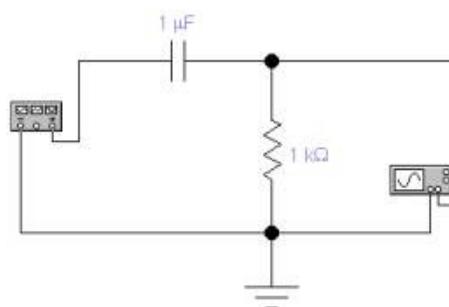


Рисунок 3 – Схема для исследования дифференцирующей цепи

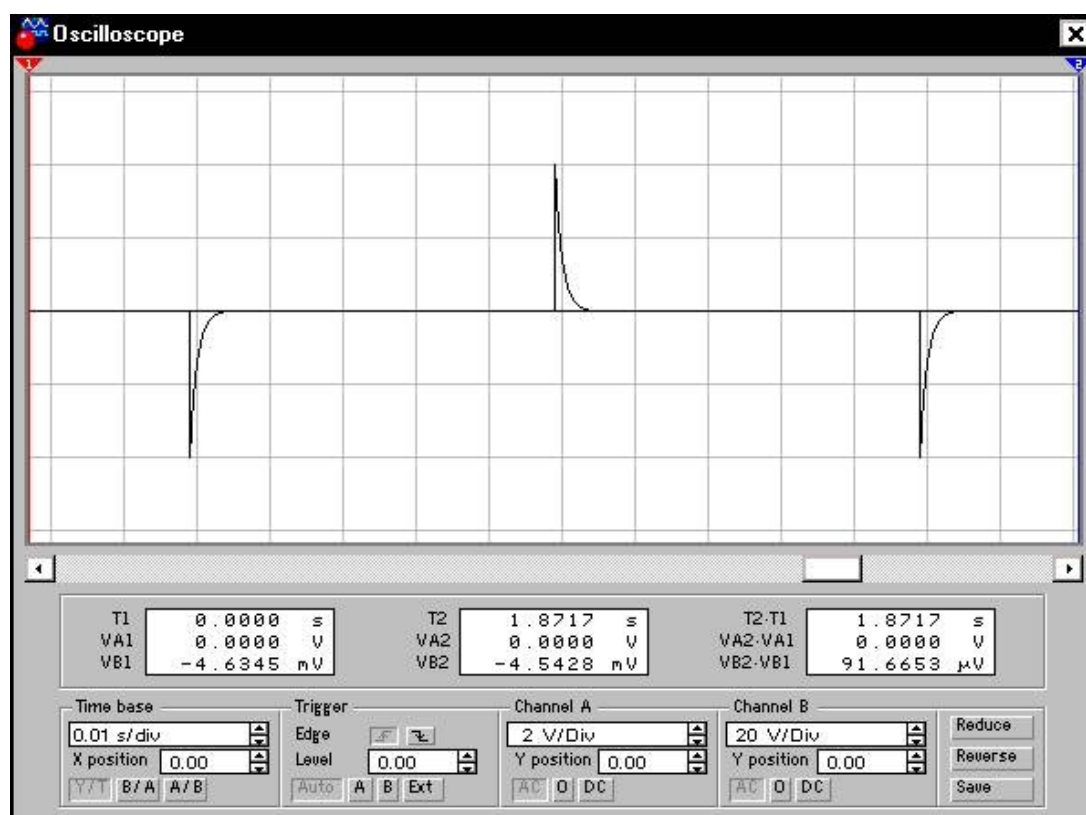


Рисунок 4 – Сигнал на выходе дифференцирующей RC – цепи

Таблица 2 - Дифференцирующая цепь

R, кОм	C, мкФ	U _{вх} , В	t _{вх} , с	U _{вых} , В
0,5	1	3		
1	1	3		
2	1	3		
3	1	3		
4	1	3		
5	1	3		

8 Опробовать схему исследований. Для этого, включив генератор и осциллограф в сеть, подать на вход осциллографа импульсы с выхода генератора при отключенной цепи.

9 Получить устойчивое изображение импульсов на экране осциллографа. Зарисовать осциллограмму импульсов и измерить их параметры — амплитуду и длительность.

10 Подключить .RC-цепь к выходу генератора импульсов. Получить па экране осциллографа изображение входных импульсов и сравнить их с импульсами, полученными в пункте 9.

11 Зарисовать импульсы на входе дифференцирующей цепи. Измерить их параметры. Результаты измерений записать в таблицу 2

12 Подключить осциллограф к выходу дифференцирующей цепи. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение выходных импульсов, зарисовать осциллограмму их и измерить параметры. Данные измерений записать в таблицу 2.

13 По данным значениям R и C произвести расчет длительности импульсов и сравнить их с полученными экспериментально. Длительность импульса после дифференцирования можно определить по формуле

$$t_{\text{увых}} = 2,3 RC$$

Следует обратить внимание на то, что отрицательные импульсы на выходе дифференцирующей цепи могут отличаться от положительных как по амплитуде, так и по длительности.

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Оборудование и приборы.
- 3 Таблицы с результатами измерений.
- 4 Примеры диаграмм входных и выходных напряжений.
- 5 Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

- 1 Нарисовать электрическую схему дифференцирующей цепи и пояснить процессы в ней.
- 2 Написать условие, при котором RC-цепь будет дифференцирующей.
- 3 Как нужно изменить параметры RC-цепи для получения более точного дифференцирования ?
- 4 Как нужно выбрать параметры R и C, чтобы цепь была интегрирующей?

Лабораторная работа №6

Исследование работы автоколебательного мультивибратора

Цель работы: проанализировать влияние параметров время задающих цепей на длительности импульсов

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

В импульсной технике широко применяются генераторы прямоугольных импульсов, которые относятся к классу релаксационных генераторов. Колебания, в которых медленные изменения чередуются со скачкообразными, называют релаксационными. Такими колебаниями являются, в частности, прямоугольные и пилообразные импульсы.

К релаксационным генераторам, вырабатывающим электрические колебания, близкие по форме к прямоугольным, относятся мультивибраторы и блокинг-генераторы.

Мультивибраторы выпускают в виде монолитных интегральных микросхем, выполняют на операционных усилителях, цифровых интегральных схемах, а также на дискретных компонентах; в последнем случае их активными элементами обычно являются транзисторы.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему для исследования автоколебательного мультивибратора (рис.1).

2. Кнопкой  включите схему.

3. В результате на осциллографе появится картина, представленная на рисунке 2 .

Примечание: настройки осциллографа должны быть как на рисунке 2 .

4. Измерьте длительности импульсов t_{u1} и t_{u2} по методике, представленной на рисунке 3 .

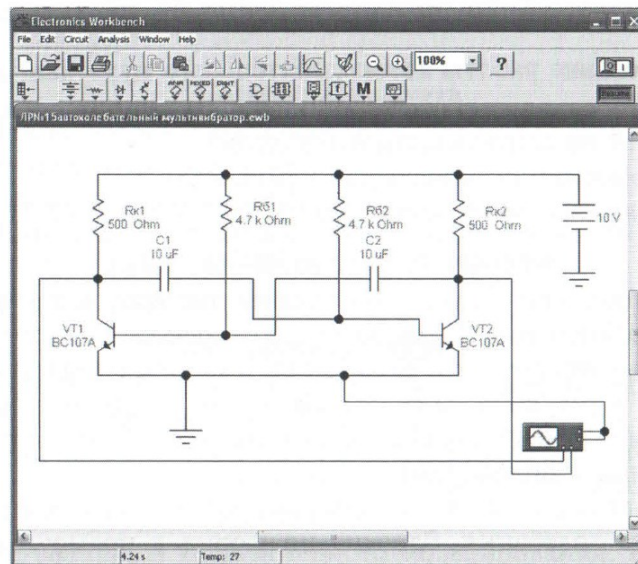


Рисунок 1 - Схема для исследования автоколебательного мультивибратора

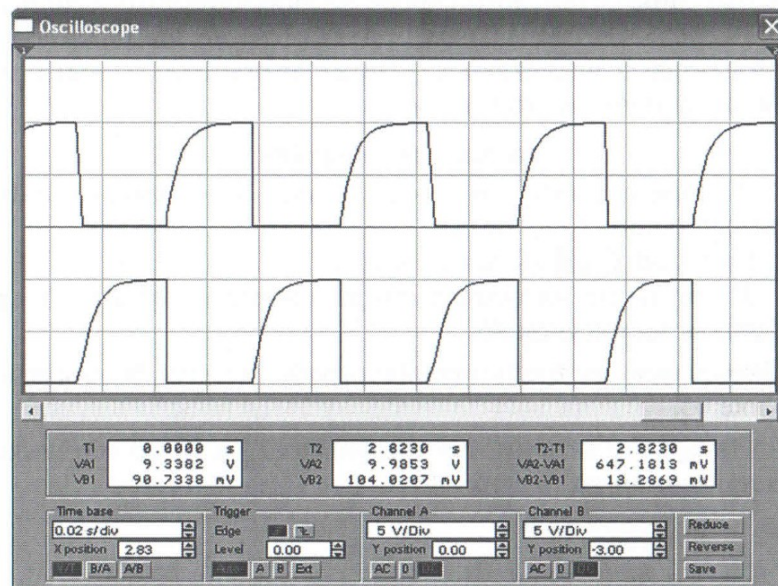


Рисунок 2 - Измерение длительности импульсов t_{u1} и t_{u2}

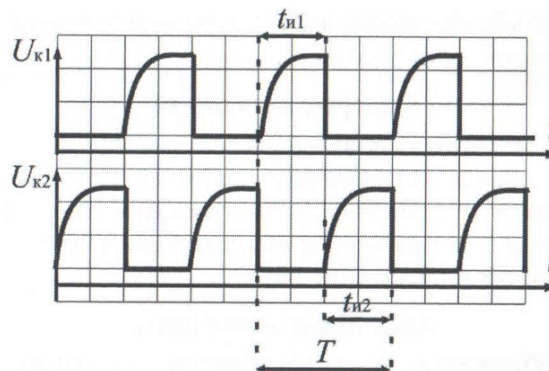


Рисунок 3 - Методика измерения длительности импульса t_{u1} и t_{u2}

5. Результаты измерений занесите в таблицу 1 в графу «Измерено»

Таблица 1 – Измерения и вычисления

Номер опыта	Параметры схемы				Длительности импульсов t_{u1} и t_{u2} , мс			
	R_{61} , кОм	C_2 , мкФ	R_{62} , кОм	C_2 , мкФ	Измерено		Вычислено	
					t_{u1}	t_{u2}	t_{u1}	t_{u2}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4,7	10	4,7	10				
2	4,7	20	4,7	10				
3	4,7	10	4,7	20				
4	4,7	10	10	10				
5	10	10	4,7	10				

6. Вычислите длительности импульсов t_{u1} и t_{u2} по формулам: $t_{u1} \approx 0,7 R_{61} C_2$, $t_{u2} \approx 0,7 R_{62} C_1$. Результаты вычислений запишите в таблицу 35 в графу «Вычислено».

7. Аналогично проделайте измерения и вычисления для других параметров схемы согласно таблице 1.

8. Сделайте выводы, поясняющие влияние параметров схемы на длительности импульсов t_{u1} и t_{u2}

Содержание отчета

1. Номер, тема и цель занятия.
2. Оборудование и приборы.
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Примеры диаграмм выходных напряжений.
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите, какие генераторы относят к релаксационным.
2. Поясните, как влияют элементы схемы на длительность импульсов.
3. Укажите, какой мультивибратор называется симметричным.
4. Объясните, чему равна скважность импульсов симметричного мультивибратора

Практическая работа № 14

Расчет параметров схемы автоколебательного мультивибратора

Цель работы: рассчитать периоды и длительности импульсов автоколебательных мультивибраторов на транзисторах и операционном усилителе(ОУ)

Оборудование: калькулятор, индивидуальные задания. Исходные данные к задачам задает преподаватель

Исходные данные

Таблица 1- Исходные данные к задаче 1

Номер вар.	1	2	3	4	5
$C_1, \text{пФ}$	100	150	200	250	100
$C_2, \text{пФ}$	510	470	300	50	400
$R_{\text{б1}}, \text{кОм}$	20	25	24	20	25
$R_{\text{б2}}, \text{кОм}$	24	30	20	10	20

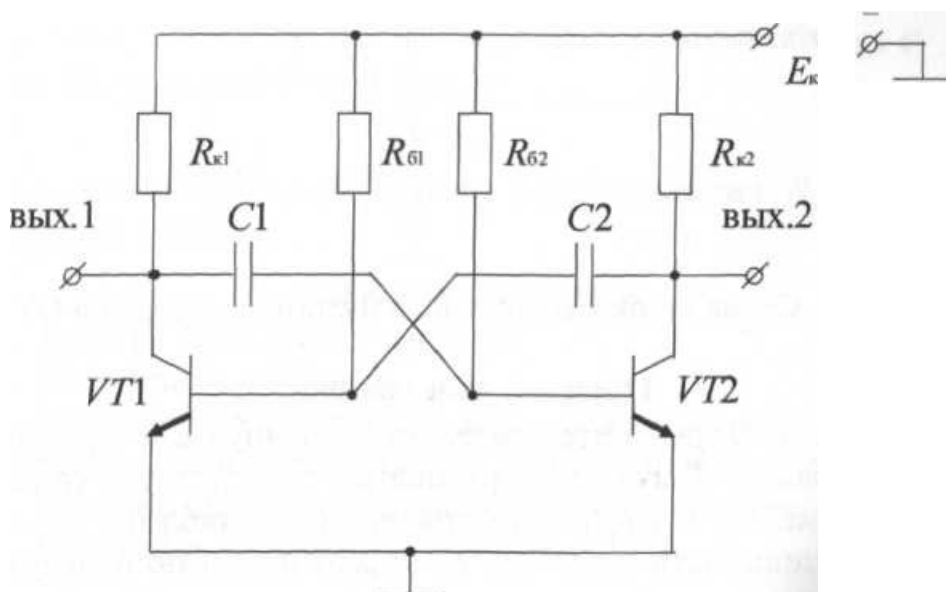


Рисунок 1–Схема автоколебательного мультивибратора на транзисторах

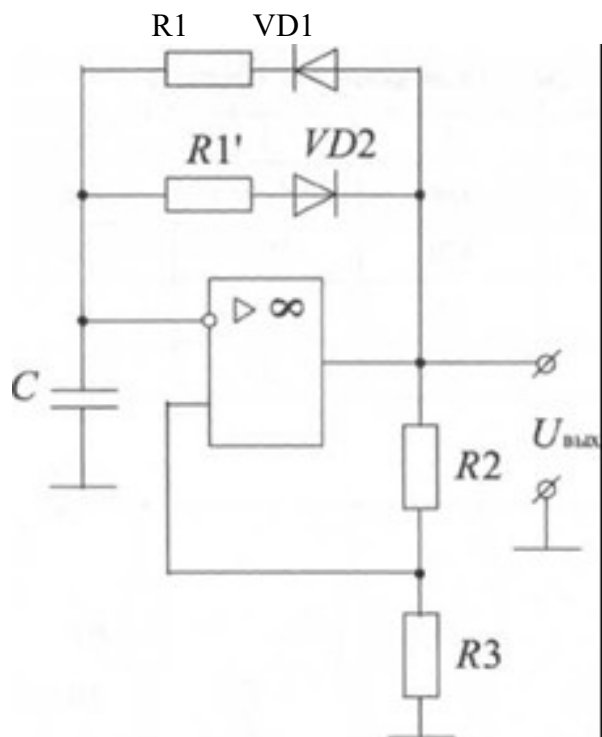


Рисунок 2 - Схема автоколебательного мультивибратора на ОУ

Таблица 2 - Исходные данные к задаче 2

Номер	1	2	3	4	5
C, мкФ	од	0,2	0,05	0,3	0,4
R ₁ , кОм	120	80	100	60	50
R _{1'} , кОм	80	120	120	80	80
R ₂ , кОм	100	120	120	80	100
R ₃ , кОм	86	80	100	100	90

Порядок выполнения работы

Задача 1. Определите длительности импульсов t_{u1} , t_{u2} и период колебаний T мультивибратора на транзисторах (рисунок1) для значений C_1 , C_2 , R_{61} , R_{62} приведенных в таблице 1.

Длительность импульса t_{u1} определяется по формуле:

$$t_{u1} \approx 0,7 \tau_1$$

где $\tau_1 = C_2 R_{61}$ — постоянная времени разрядки конденсатора C_2

Длительность импульса t_{u2} определяются по формуле

$$t_{u2} \approx 0,7 \tau_2$$

где $\tau_2 = C_1 R_{61}$ — постоянная времени разрядки конденсатора

Период колебаний равен:

$$T = t_{и1} + t_{и2}$$

Задача 2. Определите длительности импульсов $t_{и1}$, $t_{и2}$, и период колебаний T мультивибратора на ОУ (рисунок 2) для значений C , R_1 , R'_1 , R_2 , R_3 приведенных в таблице 2.

Длительность импульса $t_{и1}$ определяет по формуле

$$t_{и1} = 2,3 \tau_1 \lg \frac{1+\gamma}{1-\gamma}$$

где $\tau_1 = CR_1$ — постоянная времени зарядки конденсатора C

$\gamma = \frac{R_3}{R_3 + R_2}$ — коэффициент передачи делителя напряжения R_2 , R_3

Длительность импульса $t_{и2}$ определяется по формуле

$$t_{и2} = 2,3 \tau_2 \lg \frac{1+\gamma}{1-\gamma}$$

где $\tau_2 = CR_2$, — постоянная времени разрядки конденсатора C .

Период колебаний равен:

$$T = t_{и1} + t_{и2}$$

Сделайте выводы о влиянии сопротивления R_3 на форму выходного сигнала.

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Результаты расчетов.
- 3 Схема автоколебательного мультивибратора на транзисторах.
- 4 Схема автоколебательного мультивибратора на ОУ
- 5 Диаграммы выходных напряжений в масштабе.
- 6 Выводы о проделанной работе

Практическая работа № 15

Исследование работы триггера Шмита

Цель работы: проанализировать влияние параметров схемы на форму выходного сигнала.

Оборудование: персональный компьютер.

Программное обеспечение: Electronics Workbench 5.12.

Краткие теоретические сведения

Устройство, имеющее два устойчивых состояния, называют триггером. В одном из них на выходе триггера присутствует высокий потенциал, в другом – низкий. Аналогично мультивибратору, переход триггера из одного состояния в другое происходит лавинообразно, но только с приходом переключающего (запускающего) сигнала.

По принципу действия триггер напоминает взведенную пружину, которая спускается внешней силой. Отсюда еще одно название триггера – спусковое устройство.

При переключении триггера потенциалы на его выходе меняются лавинообразно, т.е. на выходе формируется прямоугольный импульс с крутыми фронтами. Это позволяет использовать триггер для формирования прямоугольных импульсов из напряжения другой формы (например, из синусоидального).

Порядок выполнения

1. Соберите схему для исследования триггера Шмитта (рисунок 1).
2. Кнопкой  включите схему.
3. В результате на осциллографе появится картинка, представленная на рисунке 2.
4. Зарисуйте форму входного и выходного сигналов.
5. Изменяя последовательно значение сопротивления $R_3=0,7 \text{ кОм}$, $0,5 \text{ кОм}$, $0,3 \text{ кОм}$, $0,1 \text{ кОм}$, нарисуйте формы выходных сигналов при данных значениях.

6. Сделайте вывод о влиянии сопротивления R_3 на форму выходного сигнала.

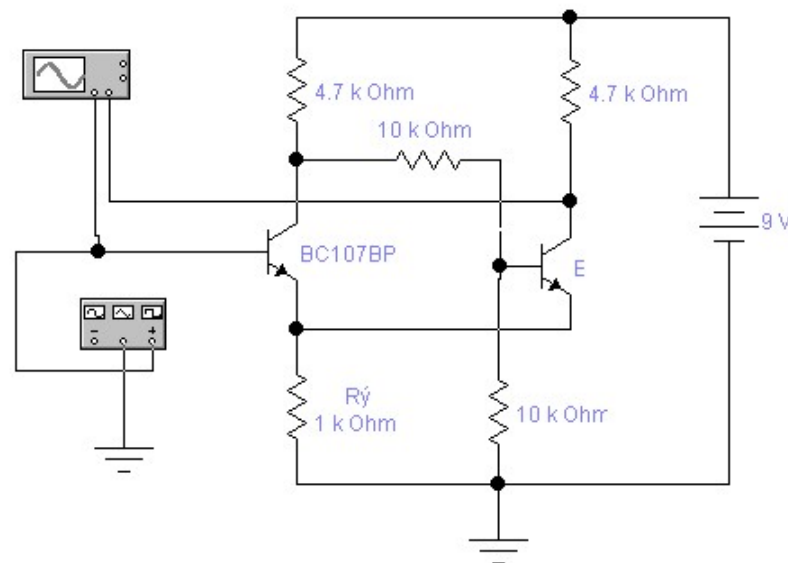


Рисунок 1 - Схема для исследования триггера Шмитта

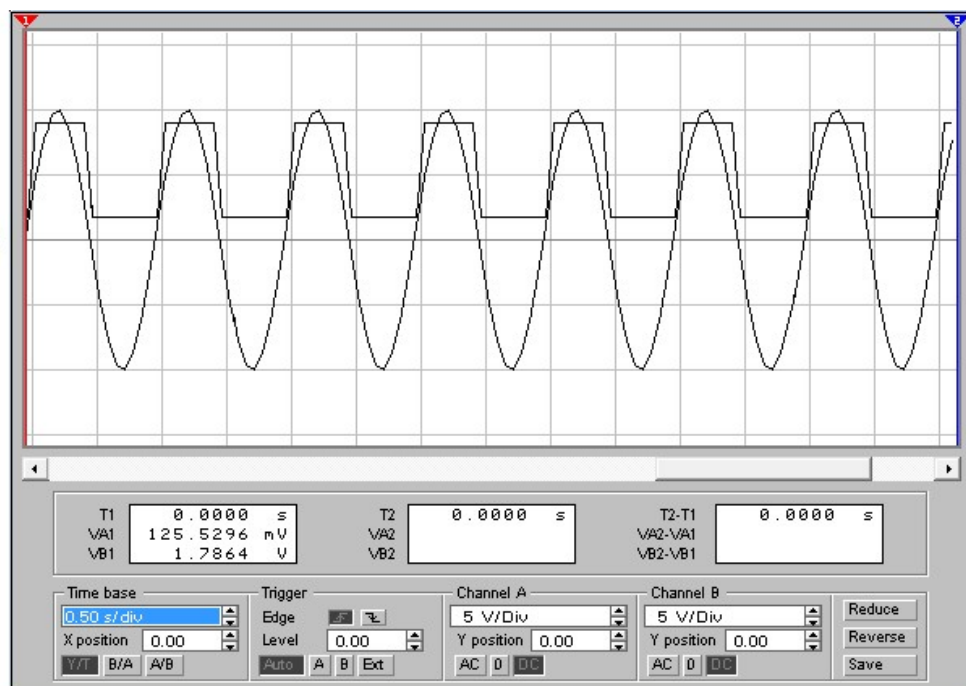


Рисунок 2- Осциллограмма входного и выходного сигнала

Содержание отчета

- 1 Номер, тема и цель занятия.
- 2 Оборудование и приборы
- 3 Таблицы с результатами измерений.
- 4 Диаграммы входных и выходных напряжений.
- 5 Выводы о проделанной работе

Контрольные вопросы

- 1 Сформулируйте понятие триггер.
- 2 Перечислите основные виды триггеров.
- 3 Укажите, где используется триггер Шмитта.
- 4 Поясните, почему триггер можно использовать в качестве запоминающего устройства.
- 5 Поясните принцип работы триггера Шмитта.

Список источников, рекомендованных для самоподготовки

Основной учебник:

Фролов В.А. Электронная техника: учебник в 2 ч. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015

Ч.1 : Электронные приборы и устройства. – 532с.

Ч.2 : Схемотехника электронных схем. – 611с.

Дополнительные источники:

1 Москатов Е.А. Основы электронной техники – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 378с.

2 Мизерная З.А. Электронная техника: Учебник для техникумов и колледжей ж.д. транспорта. – М. Маршрут. 2006. – 408с.

3 Браммер Ю.А., Пащук И.Н. Импульсные и цифровые устройства: Учебник для средних специальных учебных заведений – М.: Высшая школа, 2003. – 351с.

4 Акимова Г.Н. Электронная техника: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. М.:Маршрут, 2003. - 290с.

5 Транзисторы для аппаратуры широкого применения. Справочник. Под ред. Б.Л. Перельмана М., Сов.радио, 1980

Интернет ресурсы:

1 Электронная библиотечная система IPRbooks режим доступа www.iprbooks.ru

2 Электронная библиотечная система ЮРАЙТ режим доступа www.biblio-online.ru

3 Научная электронная библиотека eLibrary.ru режим доступа www.eLibrary.ru

Приложение А

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА**

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения» в г. Саратове
Филиал СамГУПС в г.Саратове

ЛАБОРАТОРНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

ОП.07 Электронная техника

специальность 11.02.06 Техническая эксплуатация транспортного
радиоэлектронного оборудования (по видам транспорта)

Студента (-ки) группы _____

Иванова Ивана Ивановича

Проверил преподаватель: Петров Петр Петрович

Саратов 20__-20__