Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Амурский государственный университет»

Н.С. Бодруг, О.В. Скрипко

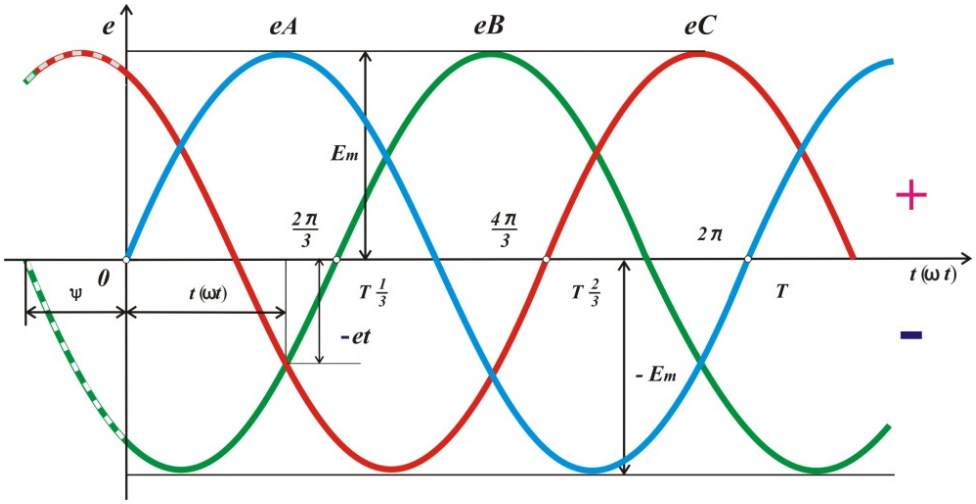
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания

к лабораторным работам

Часть 2

по направлениям подготовки 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика», 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»



Благовещенск
Издательство АмГУ
2022

ББК 31.21
УДК 621.3.01

Печатается по решению редакционно-издательского совета Амурского государственного университета

Рецензенты:

Кобзев Эдуард Владимирович – Заместитель генерального директора – Главный инженер АО «Гидроэлектромонтаж»

Бодруг Н.С., Скрипко О.В.
Электротехника и электроника. Часть 2: метод. указания к лабораторным работам / Н.С. Бодруг, О.В. Скрипко – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2022.- 62 с.

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров и специалистов очной и заочной форм обучения обучающихся по направлениям подготовки 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика», 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов». Даны методические указания к выполнению лабораторных работ по электротехнике и электронике, часть 2 с описанием теоретической части и требованиями к отчетности.

В авторской редакции.

©Амурский государственный университет, 2022
© Бодруг Н.С., 2022
© Скрипко О.В., 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
Лабораторная работа № 1. Исследование диодов 10
Лабораторная работа № 2. Исследование биполярного транзистора 15
Лабораторная работа № 3. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе 20
Лабораторная работа № 4. Исследование полевого транзистора 24
Лабораторная работа № 5. Исследование усилительного каскада на полевом транзисторе 29
Лабораторная работа № 6. Исследование тиристоров 35
Лабораторная работа № 7. Исследование интегратора и активного фильтра 39
Лабораторная работа № 8. Исследование компараторов 44
Лабораторная работа № 9. Исследование цифровых интегральных схем 47
Лабораторная работа № 10. Исследование однополупериодного управляемого выпрямителя 53
Лабораторная работа № 11. Исследование параметрического стабилизатора напряжения 57
Список литературы 61

ВВЕДЕНИЕ

1.1 Общие указания правила выполнения лабораторных работ

Выполнение лабораторных работ – важная часть учебного процесса, преследующая цель более глубокого усвоения теоретических положений изучаемой дисциплины и приобретения навыков исследовательской работы.

Перед началом лабораторных работ студенты должны изучить правила и технику безопасности работы в лаборатории.

Для успешного проведения лабораторных занятий каждая лабораторная работа выполняется бригадой в составе 2-3 человека. Бригада обязана проделать все лабораторные работы, предусмотренные учебным планом кафедры.

До начала очередной лабораторной работы студент должен ознакомиться с соответствующими указаниями и рекомендованной литературой. Перед выполнением работы необходимо иметь заранее заготовленную форму протокола измерений.

Прежде чем приступить к выполнению работы, студент должен твердо знать теоретический материал темы, к которой принадлежит данная работа, ясно представлять поставленную в работе задачу, способы ее разрешения и ожидаемые результаты.

Вся экспериментальная часть работы выполняется в полном объеме и той последовательности, как это предусмотрено данными методическими рекомендациями, под наблюдением преподавателя.

Электрические схемы для проведения лабораторных работ следует собирать по рисунку, предварительно вычерченному на бумаге. Это ускоряет сборку схемы и предохраняет от возможных ошибок. При вычерчивании схемы особое внимание должно быть обращено на правильность условных обозначений элементов схемы.

Сборка схемы является ответственной частью каждой лабораторной работы, так как от правильности сборки схемы рекомендуется подключать к

клеммам измерительных приборов и элементов блоков не более двух проводников.

Если составляются сложные схемы, следует придерживаться определенного порядка: сначала соединяются последовательно цепи всех приборов с соответствующей аппаратурой, а затем – все параллельные цепи приборов и аппаратура, относящаяся к ним.

Соединяя схемы, следует обратить внимание на правильное включение генераторных зажимов приборов (фазометра, ваттметра).

В работах на постоянном токе, необходимо также следить за правильным включением приборов, поскольку показания их зависят от направления тока.

Включать напряжение для производства опыта можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом.

Приступая к работе, нужно наметить порядок проведения отдельных операций и измерений, придерживаться установленного порядка в продолжение всей работы. Во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных результатов измерений, необходимо их повторить.

Обращение с приборами и оборудованием требует большой осторожности и внимательности!

1.2 Составление протокола измерений

Протокол измерений должен вестись с особой тщательностью, так как он является единственным документом, остающимся в распоряжении экспериментаторов. В протоколе должны отмечаться содержание соответствующего пункта лабораторной работы по программе, электрическая схема, по которой производились измерения.

Запись измерений необходимо вести карандашом в таблицах, указывая в заголовках граф таблиц наименование измеряемых величин и единицы измерения.

Запись результатов измерений по приборам необходимо производить

в такой форме, как они получены (например, в делениях шкалы) без каких-либо пересчетов в уме, хотя бы простейших, иначе при обработке результатов измерения нельзя будет установить, является ли неправильная запись результатом ошибки при подсчете или при наблюдении. Записывая результат измерений в делениях шкалы, необходимо указать постоянную прибора (цену деления).

Ошибочные записи, промахи и сомнительные наблюдения зачеркиваются, но так, чтобы зачеркнутое можно было разобрать.

Если проведение опыта требует выполнения предварительных расчетов, то в протоколе должны быть указаны формулы, по которым они производились и числовые значения, подставленные в формулы.

Рекомендуется после выполнения каждого пункта работы производить, хотя бы ориентировочно, требуемые программой расчеты и построения. Это дает возможность установить правильность проведения опыта.

Результаты измерений предъявляются для просмотра преподавателю до разборки схемы, затем обводятся чернилами.

Если результаты наблюдений оказываются неудовлетворительными, то опыт необходимо повторить. Удовлетворительные результаты подписываются преподавателем.

1.3 Составление отчета

На основании протокола измерений составляется отчет о работе, который включает все данные, занесенные в протокол наблюдений, а также все вычисления и построения, требуемые программой.

Вся графическая часть выполняется на миллиметровой бумаге и подклеивается в соответствующем месте отчета. При построении кривых следует выбирать масштабы, которые давали бы возможность легко пользоваться графиком. Рекомендуется применять шкалы, масштаб которых выражается числами 1, 2, 5, умноженными на 10^n, где n-целое число.

Координатные оси должны быть обозначены с указанием единиц измерения.

На графиках экспериментальных зависимостей обязательно должны быть отмечены точки кривой, полученные в результате эксперимента. Пример построения графика дан на рисунке 1. На расчетных кривых точки не ставятся (пунктирные линии на рис. 1).

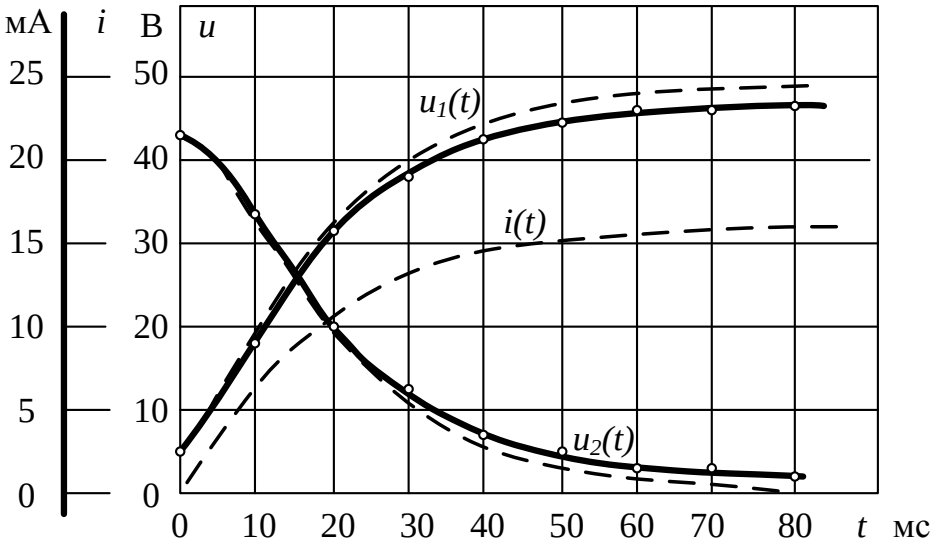


Рис. 1. Пример построения графика

Если на одном поле графика требуется нанести несколько кривых, причем размерность величин, откладываемых по оси ординат, различная, то для каждой величины должна быть дана шкала с условным обозначением величины (рис. 1).

Векторные и круговые диаграммы должны быть построены в масштабе с указанием его на диаграмме.

Масштаб на векторных и круговых диаграммах обозначается указанием масштабного коэффициента. Так, если 1 см на диаграммах соответствует 5 В, то следует писать m_u = 5 В/см. Аналогично для тока, если 1 мм на диаграмме соответствует 0,1 А, то следует писать m_i = 0,1 А/мм.

Отчет представляется преподавателю к следующему лабораторному занятию отдельно каждым студентом. Без сдачи отчета студент не

допускается к выполнению очередной работы.

Кроме того, вместе с отчетами каждая бригада представляет протокол измерений, подписанный ранее преподавателем.

1.4 Компьютерный измерительный комплекс

Компьютерный измерительный комплекс состоит из модуля **ВВОД-ВЫВОД** лабораторного стенда и компьютера с установленным программным обеспечением ***DeltaProfi***. Компьютер подключается к модулю **ВВОД-ВЫВОД** посредством стандартного кабеля USB.

Модуль ввода-вывода содержит восемь аналоговых входов («Вход 1»… «Вход 8») и два аналоговых выхода («Выход 1» и «Выход 2»).

Входы 1…4 служат для измерения и осциллографирования напряжений. Гнезда X1-X8 предназначены для измерения напряжений до 300 В, гнезда X9-X16 – для измерения напряжений до 30 В.

Входы 5…8 (гнезда X17-X32) служат для измерения и осциллографирования токов 1 А.

Аналоговые выходы в данном стенде не используются При измерениях напряжений соответствующие входы модуля **ВВОД- ВЫВОД** подключаются к схеме электрической цепи параллельно исследуемому участку. Для измерения тока в ветвь электрической цепи необходимо включить токовый вход модуля **ВВОД-ВЫВОД**. **Входы напряжения и тока** при их совместном использовании измеряют активную мощность *P,* и величину угла сдвига фаз φ между мгновенными значениями синусоидальных напряжения *u* и тока *i*.

Запуск информационно-измерительного комплекса ***DeltaProfi*** осуществляется следующим образом:

- включить компьютер, дождаться окончания загрузки Windows;
- запустить программу ***DeltaProfi.*** Появится окно программы;
- Выбрать *требуе*мую работу в меню «Работы» или нажав кнопку «Выбор работы…» . На экране появится схема лабораторной работы (на

вкладке «Мнемосхемы»). Переход между вкладками осуществляется с помощью кнопок «Стоп» и «Пуск » ;

- запустить программу в работу нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Для окончания работы информационно-измерительного комплекса ***DeltaProfi*** необходимо:

- остановить программу, нажатием кнопки в «Стоп» или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6;
- закрыть программу.

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров диодов – выпрямительных, Шоттки, стабилитронов и светодиодов.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметры	Количество
Выпрямительный диод	1 А	1
Диод Шоттки	1А	1
Стабилитрон	4,7 В	1
Светодиод	20 мА	1
Резистор	150 Ом	1
Резистор	1,0 кОм	1

2. Задание и методические указания

2.1 Предварительное домашнее задание:

а) Изучить темы курса «p-n переход», «Диоды» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) Пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2.2. Экспериментальное исследование диодов:

а) Собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой рис. 2. Для измерения анодного тока использовать вход 5 модуля ввода-вывода (гнезда X25 и X26 датчика тока ДТ1). Для измерения анодного напряжения использовать вход 1 модуля ввода-вывода (гнезда X9 и X10 датчика напряжения ДН1). В качестве токоограничивающего резистора взять активное сопротивление номиналом R1 = 150 Ом.

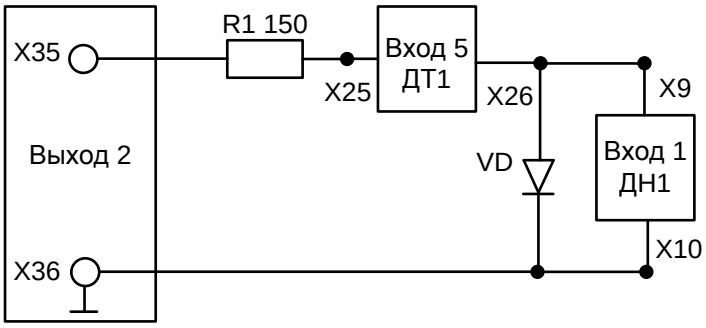


Рис. 2

б) Снять вольтамперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе в автоматическом режиме. Для этого выполнить следующие действия:

Загрузить программу автоматического управления Delta Profi.

В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)».

В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование диодов» и открыть вкладку «Выпрямительный диод».

Включить электропитание стенда (автоматический выключатель QF модуля питания, который выключается только в конце лабораторной работы) и модуля «Ввод-вывод». Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» ▶ или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5.

Наблюдать за процессом снятия характеристики. Зарисовать полученную характеристику (или сохранить в виде файла на носителе). При необходимости работу программы можно завершить раньше, нажатием кнопки «Стоп» ■ или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

Определить параметры диода:

– Максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии U_{am} при максимальном анодном токе $I_{a\,max}$,

– Пороговое напряжение U_0,

– Величину дифференциального сопротивления $r_д$ в трех точках характеристики.

2.3. Экспериментальное исследование диода Шоттки:

В собранной ранее схеме (рис. 1) заменить выпрямительный диод на диод Шоттки. Выполнить пункт 3.2 для диода Шоттки. Сравнить ВАХ и параметры диода Шоттки с параметрами и ВАХ обычного выпрямительного диода.

2.4. Экспериментальное исследование стабилитрона:

В собранной ранее схеме (рис. 1) заменить диод Шоттки на минимодуль стабилитроном. Выполнить пункт 3.2 для стабилитрона. Сравнить ВАХ стабилитрона и ВАХ обычного выпрямительного диода. По ВАХ определить напряжение стабилизации $U_{ст}$ и дифференциальное сопротивление $r_д$, сравнить результаты.

2.5. Экспериментальное исследование светодиода.

Собрать схему для исследования прямой ветви ВАХ светодиода на постоянном токе (см. рис. 1), установив **токоограничивающий резистор *R = 1 кОм*** и светодиод.

Снять вольтамперную характеристику выпрямительного светодиода на постоянном токе в автоматическом режиме. Для этого выполнить следующие действия:

В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование диодов» и открыть вкладку «Светодиод».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5.

Наблюдать за процессом снятия характеристики, обратив внимание на яркость излучения светодиода. Зарисовать полученную характеристику (или

сохранить в виде файла на носителе). При необходимости работу программы можно завершить раньше, нажатием кнопки «Стоп» ■ или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

2.6. В конце лабораторной работы выключить модуль «Ввод-вывод» и стенд (автоматический выключатель QF модуля питания).

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований, помещенные в соответствующие таблицы;

г) экспериментально снятые и построенные характеристики;

д) обработанные осциллограммы;

е) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 9-11.

4. Контрольные вопросы

1. Каковы свойства p-n перехода?

2. Объясните вид ВАХ p-n перехода?

3. Как влияет температура на различные участки ВАХ диода?

4. Как снять по точкам ВАХ диода?

5. Как снять ВАХ диода с помощью осциллографа?

6. Поясните вид ВАХ стабилитрона.

7. Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?

8. Как зависит напряжение стабилизации от температуры?

9. В чем отличие ВАХ выпрямительного диода, диода Шоттки и светодиода?

10. От чего зависит яркость свечения светодиода?

11.Какой элемент обязателен в схеме индикатора на светодиоде?

12. Каким образом на экране осциллографа получают изображение функциональной зависимости двух напряжений?

13. Каким образом на экране осциллографа получается изображение периодической функции времени?

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметр	Количество
Транзистор	1 А	1
Самовосстанавливающийся предохранитель	0,05 А	1
Резистор	150 Ом	1
Резистор	330 Ом	1
Резистор	1 кОм	1
Резистор	10 кОм	1

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Транзисторы» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2.2. Экспериментальное исследование статических характеристик биполярного транзистора:

а) собрать схему для снятия статических характеристик биполярного транзистора (рис. 3).

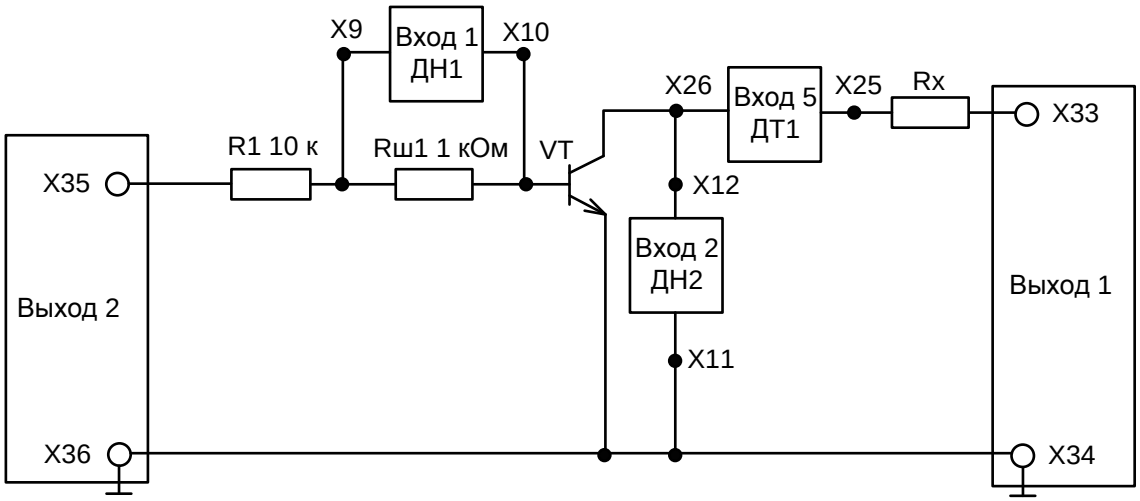


Рис. 3.

Источником входного напряжения служит управляемый от ПК аналоговый выход ЦАП-1 модуля ввода-вывода. В качестве источника постоянного напряжения $U_к$ используется аналоговый выход ЦАП-2 модуля ввода-вывода. Для измерения тока базы включить шунт сопротивлением 1 кОм, напряжение с которого подать на вход 1 модуля ввода-вывода (гнезда X9 и X10). Для измерения тока коллектора использовать вход 5 модуля ввода-вывода (гнезда X26 и X25 модуля ввода-вывода). Для измерения напряжения на коллектора использовать вход 2 датчика напряжения ДН2 (гнезда X12 и X11) модуля ввода-вывода. В качестве резистора $R_к$ использовать модули R = 150 Ом или R = 330 Ом (по указанию преподавателя);

б) снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_к = f(I_б)$ при постоянном $U_к$, равном заданному значению $\boldsymbol{E_к = B}$ и $\boldsymbol{R_к = 0}$. Для этого вместо резистора $R_к$ поставить самовосстанавливающийся предохранитель (50 мА) и после проверки преподавателем схемы выполнить следующие действия.

В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование

биполярного транзистора» и открыть вкладку «Характеристика передачи по току».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5. – Наблюдать за процессом снятия характеристики.

Зарисовать в масштабе полученную характеристику (или сохранить в файл).

в) снять характеристику прямой передачи по току при наличии заданного сопротивления нагрузки $R_к$. Для этого убрать самовосстанавливающийся предохранитель, поставить требуемое $R_к$ и выполнить следующие действия:

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5. – Наблюдать за процессом снятия характеристики.

Зарисовать полученную характеристику (или сохранить в файл).

г) снять выходные характеристики биполярного транзистора.

Собрать схему для снятия выходных характеристик биполярного транзистора (рис. 3).

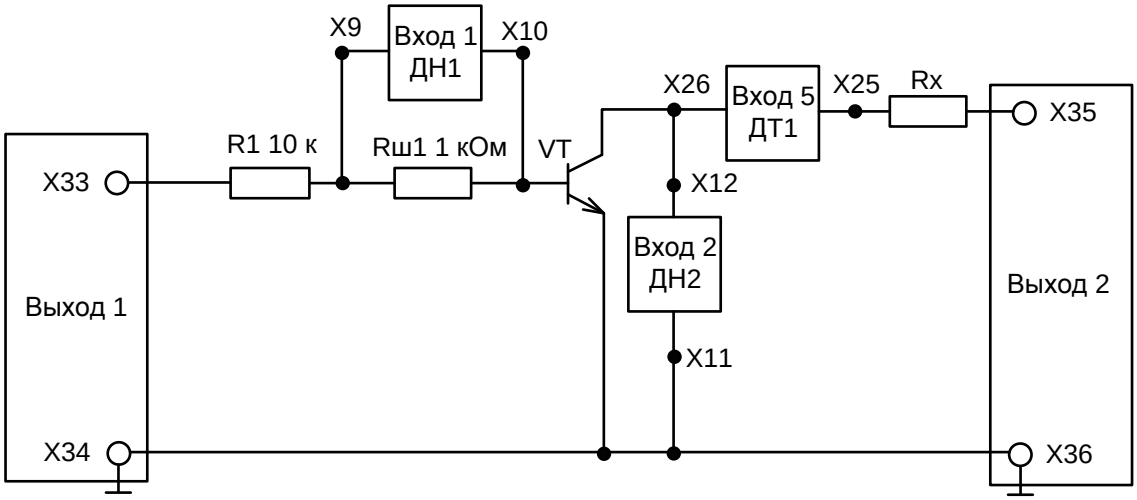


Рис. 3.

Схема отличается от схемы рис. 2 расположением выходов 1 и 2 (ЦАП1 и ЦАП2).

В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование биполярного транзистора» и открыть вкладку «Выходные характеристики при токе базы 0 мА».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5. – Наблюдать за процессом снятия характеристики.

Зарисовать в масштабе полученную характеристику (или сохранить в файл).

д) по указанию преподавателя аналогично снять выходные характеристики при токе базы 0,2 мА, 0,3 мА, 0,4 мА или 0,5 мА.

Зарисовать в масштабе полученную характеристику (или сохранить в файл).

Остановить программу, нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) определить область активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток $I_{б\ max}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление.

д) определить по экспериментальным характеристикам прямой передачи по току статический коэффициент передачи тока β и коэффициент усиление каскада по току K_i при заданной нагрузке вблизи рабочей точки покоя для класса А:

$\beta = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_б}$, $K_i = \frac{\Delta I_k'}{\Delta I_б}$

е) экспериментально снятые и построенные характеристики;

ж) выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия транзистора?

2. Какие существуют схемы включения транзистора?

3. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к транзистору типа *n-p-n* при различных схемах включения?

4. Как выглядят выходные и входные статические характеристики в схеме с общим эмиттером?

5. Что такое статическая характеристика прямой передачи по току? Как ее построить? Как она видоизменяется при наличии нагрузки? Как ее снять?

6. Как определить статический коэффициент передачи транзистора по току β?

7. Как снять статические выходные характеристики?

8. Как построить линию нагрузки?

9. Как выбрать рабочую точку покоя в классах A, AB, B, D?

10. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?

11. Что такое ключевой режим?

12. Каковы преимущества ключевого режима?

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Цель работы:

Изучение характеристик, параметров и режимов работы усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметр	Количество
Транзистор	1 А	1
Потенциометр	10 кОм	1
Потенциометр	150 Ом	1
Конденсатор	22 мкФ	1
Резистор	150 Ом	1
Резистор	1 кОм	1
Резистор	10 кОм	2

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Транзисторы», «Усилительные каскады» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

2.2. Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в классе А:

а) собрать схему для исследования усилительного каскада в соответствии с рис. 4.

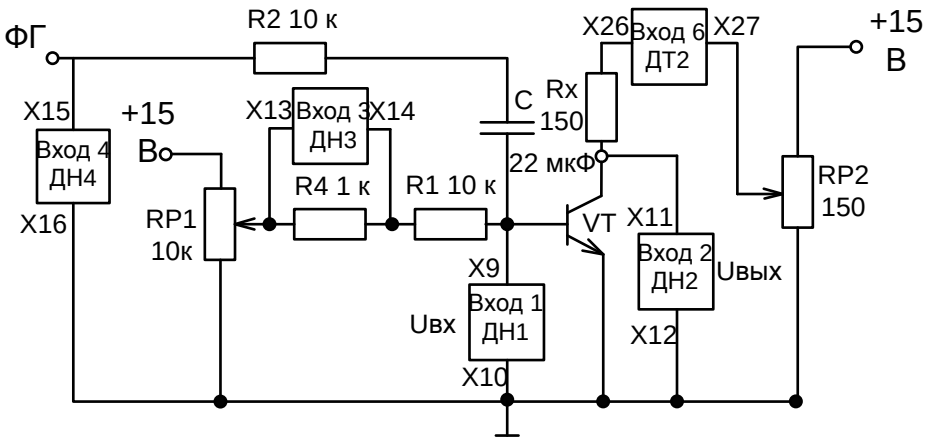


Рис. 4

Подключить Вход 1 модуля ввода вывода ко входу усилителя, а Вход 2 к выходу усилителя. Включить питание стенда, модуль ввод-вывод, функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал частотой 50 Гц, уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды. Запустить программу автоматического управления Delta Profi, в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

При токе $I_б = 0$ установить с помощью потенциометра RP2 заданное значение $E_к$ и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра RP2!);

б) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{вых\ m}$

Плавно увеличивайте амплитуду входного сигнала (осциллограмма красного цвета на графике U вых.), и постоянную составляющую тока базы, до появления видимого уплощения вершин синусоиды выходного напряжения. Обратите внимание, одновременно ли начинают уплощаться положительная и отрицательная полуволны. При необходимости уточните

положение рабочей точки покоя. Зарисовать в масштабе (или сохранить в файл) выходное напряжение с искажениями и предельное без искажения. Определите масштабы по напряжению и по времени. Дальнейшие измерения выходного сигнала необходимо производить в том же масштабе;

в) определить положение рабочей точки покоя.

Для этого уменьшить входной синусоидальный сигнал до нуля и определить величины токов $I_{бр}$, $I_{кр}$; по монитору определить $U_{кр}$;

г) исследовать экспериментально влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного напряжения.

Для этого установите вновь рабочую точку $I_{бр}$, $I_{кр}$, $U_{кр}$ и максимальную амплитуду синусоидального неискаженного выходного напряжения. Зарисовать в масштабе (или сохранить в файл) кривые выходного напряжения при изменении постоянной составляющей тока базы $I'_{бр} = 0{,}5\ I_{бр}$ и $I''_{бр} = 1{,}5\ I_{бр}$, при этом переменный входной сигнал изменять не следует;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению K_u.

Для этого установить $I_б = I_{бр}$, изменяя переменный входной сигнал, добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью модуля Ввода-вывода амплитуды выходного $U_{вых}$ и входного $U_{вх}$ сигналов. Определить коэффициент усиления.

2.3. Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в классе В:

а) определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе В. Для этого с помощью потенциометра RP1 установить $I_б = 0$, и регулируя амплитуду входного сигнала добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоиды выходного напряжения; зарисовать осциллограмму;

б) определить положение рабочей точки покоя.

Если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром RP1 постоянный ток $I_б$ и изменяя переменный входной сигнал добейтесь воспроизведения усилителем ровно половины неискаженного синусоидального напряжения с максимальной амплитудой.

Уменьшите $U_{вх}$ до нуля и запишите ток $I_б$, который пришлось установить в рабочей точке покоя, чтобы не было искажения. Эта рабочая точка покоя соответствует классу АВ.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенным по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) обработанный осциллограммы;

д) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 5-7.

4. Контрольные вопросы

1. Как построить линию нагрузки?

2. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?

3. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим эмиттером.

4. Каково назначение элементов усилителя?

5. Как определить коэффициент усиления каскада по току и напряжению (графически и экспериментально)?

6. Что такое ключевой режим?

7. Каковы преимущества ключевого режима?

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров полевого транзистора.

Перечень минимодулей

Наименование минимодуля	Количество
Полевой транзистор	1
Резистор 47 Ом	1
Резистор 100 Ом	1
Резистор 120 Ом	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 330 Ом	1
Конденсатор 22 мкФ	1

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Транзисторы» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

2.2. Экспериментальное исследование характеристик полевого транзистора:

а) собрать схему для снятия статической передаточной (сток-затворной) характеристики полевого транзистора без нагрузки (рис. 5);

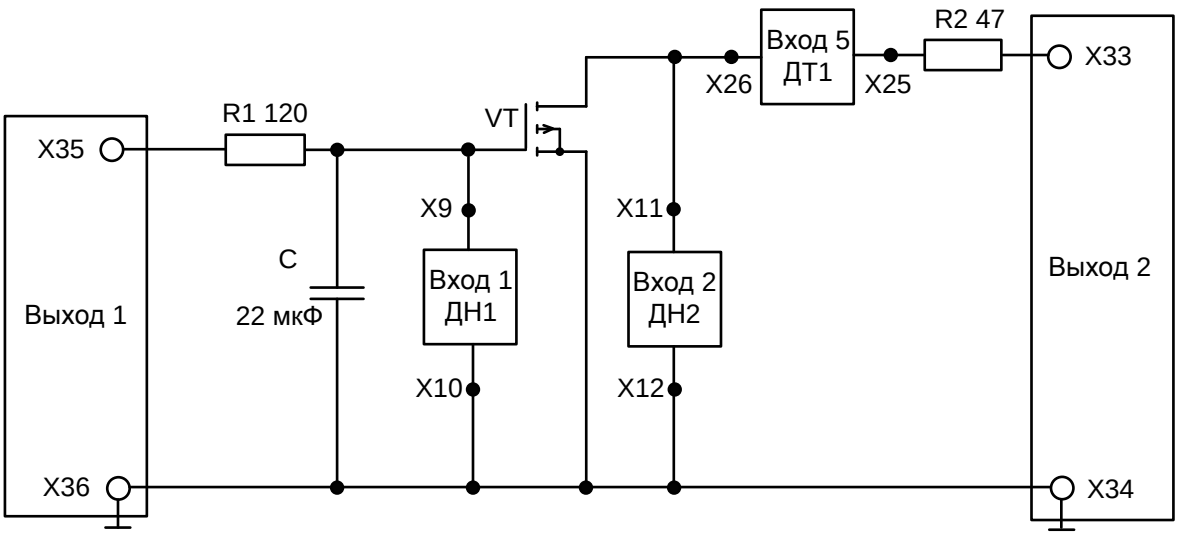


Рис. 5

Источником входного напряжения служит управляемый от ПК аналоговый выход ЦАП-1 модуля ввода-вывода. В качестве источника постоянного напряжения используется аналоговый выход ЦАП-2 модуля ввода-вывода. Для измерения напряжения на затворе использовать вход 1 (гнезда X9 и X10) модуля ввода-вывода. Напряжение между стоком и истоком измерять с помощью входа 2 (гнезда X11 и X12). Для измерения тока стока подключить вход 5 (гнезда X25 и X26) модуля ввода-вывода. Резистор R2 служит для ограничения тока в схеме.

б) снять сток-затворную характеристику $I_c = f(U_з)$ при постоянном U_c, равном заданному значению. После проверки преподавателем схемы выполнить следующие действия.

В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование полевого транзистора» и открыть вкладку «Передаточная (сток-затворная) характеристика».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5. – Наблюдать за процессом снятия характеристики.

Зарисовать в масштабе полученную характеристику (или сохранить в файл).

в) снять сток-затворную характеристику при наличии заданного сопротивления нагрузки R_2. Для этого убрать R_2 47 Ом, поставить требуемое R_2 и выполнить следующие действия:

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5. – Наблюдать за процессом снятия характеристики.

Зарисовать полученную характеристику (или сохранить в файл).

г) собрать схему для снятия выходной статической вольт-амперной характеристики (рис. 6). Для этого поставить сопротивление нагрузки R_2 150 Ом или 330 Ом по указанию преподавателя.

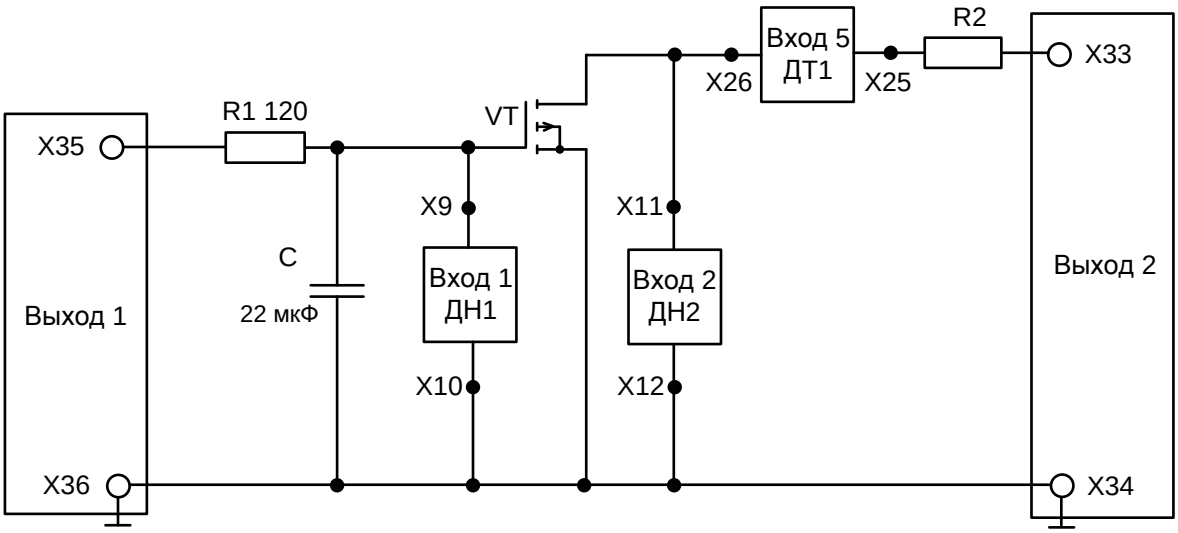


Рис. 6

Снять выходную характеристику $I_c = f(U_{си})$ при постоянном $U_{зи}$ равном заданному значению. После проверки преподавателем схемы выполнить следующие действия.

В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование

полевого транзистора» и открыть вкладку «Выходные характеристики при напряжении на затворе 2 В».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5. – Наблюдать за процессом снятия характеристики.

Зарисовать в масштабе полученную характеристику (или сохранить в файл).

Аналогично снять выходные характеристики при напряжении на затворе 2,5 В, 2,7 В, 3 В, 3,1 В, 3,5 В, 4 В.

Зарисовать в масштабе полученную характеристику (или сохранить в файл).

Остановить программу, нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) экспериментально снятые и построенные характеристики; определить по экспериментальным передаточным характеристикам крутизну передаточной характеристики $S = (dI_c / dU_з)$ при отсутствии и наличии нагрузки;

д) обработанную осциллограмму выходных характеристик; по полученным экспериментальным выходным характеристикам определить сопротивление сток-исток на участке насыщения $R_{си} = U_c / I_c$ при $U_{з.max}$;

е) расчет потерь в транзисторе в режиме насыщения $P_{сн}$ при $U_з = U_{з.max}$ и максимальном напряжении на стоке по экспериментально снятым выходным характеристикам.

4. Контрольные вопросы

1. Какие разновидности полевых транзисторов вы знаете?

2. Каковы основные преимущества и недостатки полевых транзисторов?

3. Почему ток транзистора достигает насыщения при изменении напряжения на стоке?

4. Какова полярность напряжений, прикладываемых к полевому транзистору с изолированным затвором и каналами «п» и «р» типов при схеме включения с общим истоком?

5. Как выглядят передаточные и выходные характеристики транзистора с индуцированным каналом?

6. Как снять статические выходные характеристики?

7. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?

Лабораторная работа №5

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Цель работы

Изучение характеристик, параметров и режимов работы усилительного каскада на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим истоком.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Количество
Транзистор полевой (МОП) с каналом n-типа	1
Потенциометр 10 кОм	1
Конденсатор 1 мкФ	1
Конденсатор 22 мкФ	1
Резистор 150 Ом	1
Резистор 10 кОм	3

2. Задание и методические указания

1) Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Транзисторы», «Усилительные каскады» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2) Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе в классе А:

а) собрать схему для исследования усилительного каскада в соответствии с рис. 7.

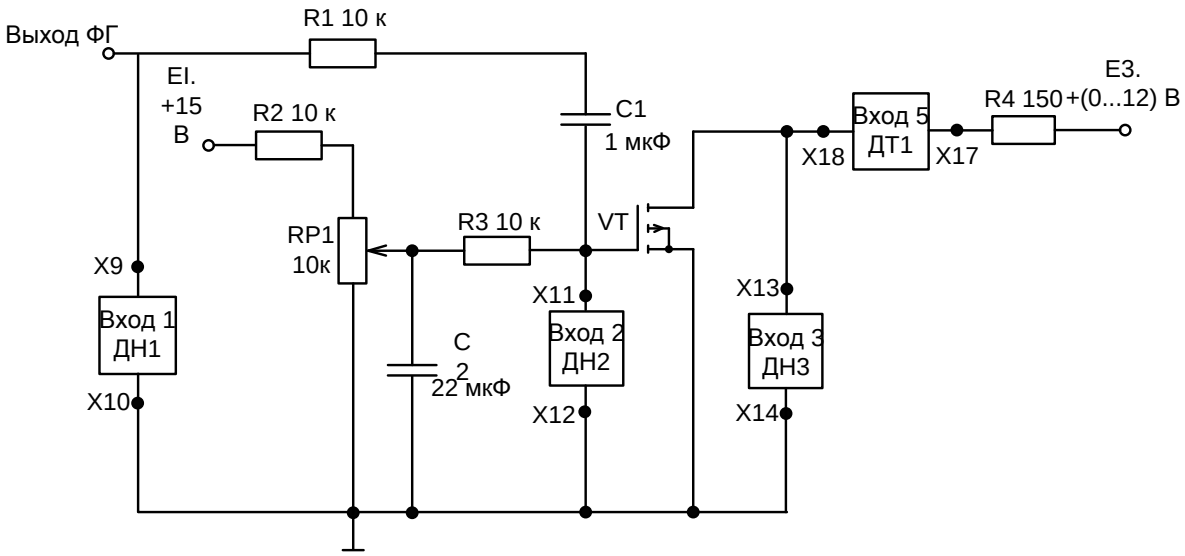


Рис. 7 Схема исследования усилительного каскада

Подключить **Вход 1** модуля ввода-вывода к выходу функционального генератора, **Вход 2** – ко входу усилителя, а **Вход 3** – к выходу усилителя.

Проверить собранную схему с преподавателем.

Включить питание стенда, модуль ввода-вывода, функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал частотой 50 Гц, уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды. Запустить программу Delta Profi, в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)».

В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование усилительного каскада на полярном транзисторе» и выбрать «Класс А».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5.

Включить тумблер питания SA1. При напряжении на затворе $U_з = 0$ установить с помощью потенциометра RP на модуле питания заданное значение E_c и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра RP на модуле питания!);

б) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{вых.m}$. Для этого при $U_з = 0$, определите положение нулевой линии на третьей осциллограмме

(Uc). Плавно увеличивайте напряжение на затворе. Линия должна опуститься на половину расстояния до нулевой линии. Плавно увеличивайте амплитуду входного сигнала. После появления на экране синусоиды продолжайте увеличивать входной сигнал до появления видимого уплощения вершин синусоиды выходного напряжения. Обратите внимание, одновременно ли начинают уплощаться положительная и отрицательная полуволны. При необходимости уточните положение рабочей точки покоя, изменяя напряжение на затворе потенциометром RP1. Зарисовать в масштабе (или сохранить в файл) выходное напряжение с искажениями и предельное без искажения. Определите масштабы по напряжению и по времени. Дальнейшие измерения выходного сигнала необходимо производить в том же масштабе;

в) определить положение рабочей точки покоя. Для этого уменьшить входной синусоидальный сигнал до нуля и определить величины напряжения на затворе $U_{зр}$ тока $I_{ср}$, и напряжения $U_{ср}$ в рабочей точке покоя; $U_{ср}$ определить с помощью осциллограммы;

г) исследовать экспериментально влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного напряжения. Для этого установите максимальную амплитуду синусоидального неискаженного выходного напряжения. Зарисовать в масштабе (или сохранить в файл) кривые выходного напряжения при изменении постоянной составляющей напряжения на затворе $U'_{зр} = (U_{зр} + 0{,}2\ В)$ и $U''_{зр} = (U_{зр} - 0{,}2\ В)$, при этом переменный входной сигнал изменять не следует. Объяснить причины возникающих искажений выходного сигнала;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению K_u. Для этого установить $U_з = U_{зр}$. Изменяя переменный входной сигнал, добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью осциллограммы амплитуду выходного $U_{вых}$ и входного $U_{вх}$ сигналов. Определить коэффициент усиления, учесть масштабы;

3) Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе в классе B:

а) определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе B. Для этого в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопки мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа №6. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе» и выбрать «Класс B, AB».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5.

С помощью потенциометра RP1 установить $U_з$ близким к напряжению отсечки (ток стока приближается к нулю). Регулируя амплитуду входного сигнала добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоиды выходного напряжения; зарисовать в масштабе (или сохранить в файл) осциллограмму;

б) если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром RP1 напряжение на затворе $U_з$ и изменяя переменный входной сигнал добейтесь воспроизведения усилителем ровно половины периода неискаженного синусоидального напряжения на затворе $U_з$, которое пришлось установить в рабочей точке покоя, чтобы не было искажений. Эта рабочая точка покоя соответствует классу AB. Зарисовать в масштабе (или сохранить в файл) полученную осциллограмму.

4. Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе в классе D:

а) исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Для этого в окне программы выбрать меню «Работы» нужно выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа №6. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе» и выбрать «Класс D». Запустить программу в работу, нажатием

кнопки «Пуск» ▶ или командой главного меню «Управление-Пуск» или горячей клавишей F5.

Установите $U_з = 0$ и увеличить сигнал от функционального генератора ФГ до перехода транзистора в ключевой режим; зарисуйте в масштабе (или сохраните в файл) осциллограмму выходного напряжения;

б) повторите опыт при подаче на вход прямоугольного сигнала.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) обработанные осциллограммы;

д) расчет потерь. Воспользовавшись осциллограммами и показаниями приборов, рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{ср} = U_{ср}I_{ср}$) и в ключевом режиме потери при насыщении $P_{сн}$, отсечке $P_{со}$ (если ток $I_{со}$ очень мал, принять $P_{со} = 0$) и средние потери в ключевом режиме $P_{с.ср}$ при относительной длительности импульса 0,5.

$P_{с.ср} = 0{,}5\ P_{сн} + 0{,}5\ P_{со}$.

Сравнить потери в рабочей точке покоя в классе А и в ключевом режиме.

Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены.

4. Контрольные вопросы

1. Как построить линию нагрузки?

2. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?

3. Чем отличаются классы усиления?

4. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим истоком.

5. Каково назначение элементов усилителя?

6. Как экспериментально определить коэффициент усиления каскада по напряжению?

7. Как определить потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А?

8. Что такое ключевой режим?

9. Каковы преимущества ключевого режима?

10. Как определить потери в транзисторе в ключевом режиме?

Лабораторная работа №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров тиристоров.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметр	Количество
Тиристор	1 А	1
Потенциометр	2,2 кОм	1
Резистор	1 кОм	1
Резистор	150 Ом	1
Резистор	10 кОм	1

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Тиристоры» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь мнемосхемой начертить схемы для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

2.2. Экспериментальное исследование тиристора:

а) собрать схему для исследования тиристора на постоянном токе в соответствии с рис. 8. Для измерения тока управления I_y и анодного тока I_a включить Вход 3 ДН 3 и Вход 6 ДТ 2. Для измерения анодного напряжения U_a и напряжения U_y включить Вход 2 ДН 2 и Вход 1 ДН 1.

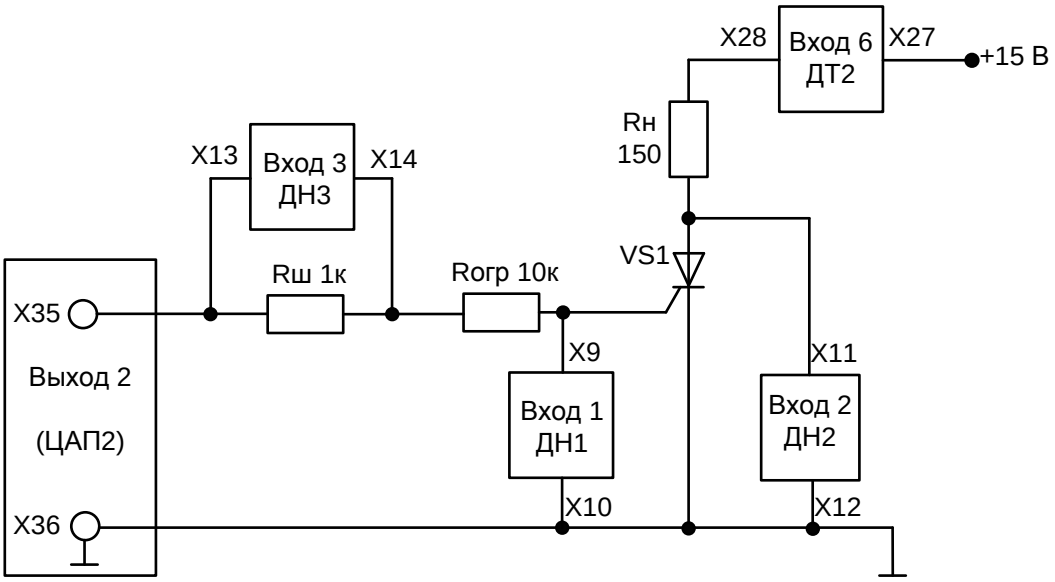


Рис. 8

б) определить отпирающий постоянный ток управления I_{yo} и отпирающее постоянное напряжение управления U_{yo}, при которых происходит включение тиристора. Для этого запустить программу Delta Profi. В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование тиристоров», и открыть вкладку «Отпирающий постоянный ток управления».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

После запуска программы, ЦАП 2 начнет формировать линейно меняющееся напряжение от 0 до 10 В, увеличивая ток управления I_y. Зафиксировать, при каком значении тока управления I_{y0} и напряжения управления U_{yo} включится тиристор. О включении тиристора судить по резкому уменьшению напряжения на аноде U_a и увеличению анодного тока I_a;

в) снять и построить входную характеристику тиристора $U_y = f\,(I_y)$ (при разорванной анодной цепи).

Включить питание стенда, модуль Ввод-Вывод. Запустить программу Delta Profi. В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопки мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование тиристоров», и открыть вкладку «Входная характеристика тиристора».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Источником входного напряжения служит управляемый от ПК аналоговый выход ЦАП-2 модуля ввода-вывода. Для измерения тока управления используется вход 3 ДН 3, анодного тока вход 6 ДТ 2. Анодное напряжение и напряжение управление измеряется ДН 2 и ДН 1 (вход 2 и вход 1).

Снять и построить входную характеристику тиристора $U_y = f\ (I_y)$ (при разорванной анодной цепи).

г) собрать схему для получения анодной ВАХ тиристора (рис. 2). Источником анодного напряжения служит управляемый от ПК аналоговый выход ЦАП-2 модуля ввода-вывода. Для измерения анодного тока использовать Вход 6 ДТ 2. Для измерения анодного напряжения тиристора подключить его к входу 2 модуля ввода-вывода. Для измерения управляющего тока включить Вход 3 ДН3.

Снять ВАХ тиристора при двух значениях тока управления I_y. Для этого выполнить следующие действия:

Запустить программу Delta Profi. В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопки мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование тиристоров», и открыть вкладку «Анодная ВАХ тиристора».

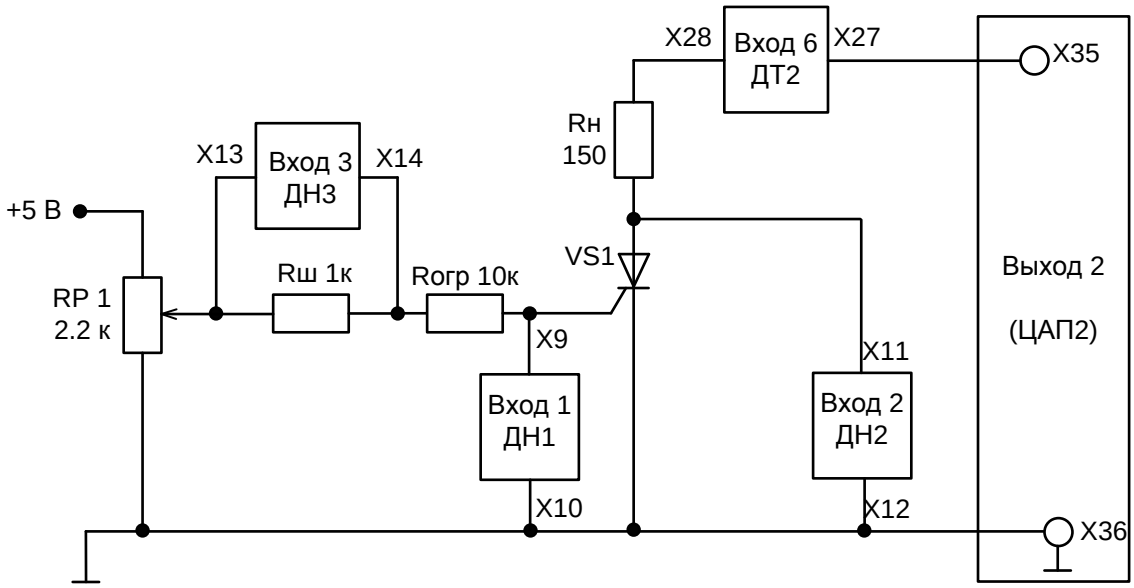


Рис. 9

С помощью потенциометра RP1 установить заданный ток управления. Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Наблюдать за процессом снятия характеристики. Выключить питание.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы; б) схемы соединений для выполненных экспериментов; в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) экспериментально снятые и построенные характеристики;

д) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 3-5.

4. Контрольные вопросы:

1. Поясните вид выходной (анодной) ВАХ тиристора.

2. Поясните вид входной ВАХ тиристора.

3. Как определить пороговое напряжение и дифференциальное сопротивление тиристора во включенном состоянии?

4. Как снять выходную ВАХ тиристора?

5. Сравните свойства тиристоров и транзисторов по управляемости.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРАТОРА И АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

1. Цель работы

Изучение схем включения операционного усилителя (ОУ) с обратными связями в качестве интегратора и активного фильтра.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметр	Количество
ОУ	$U_{пит} = \pm 15$ В, $I_{вых\ max} = 10$ мА, $U_{см} = 10$ мВ	1
Конденсатор	100 нФ	1
Конденсатор	10 нФ	1
Потенциометр	10 кОм	1
Резистор	10 кОм	3
Резистор с переключателем	10 – 470 кОм	1

Таблица переключений

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сопротивление	10к	20к	30к	52к	74к	96к	152к	208к	264к	364к	470к

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Схемы включения операционного усилителя», содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) нарисовать диаграммы $u_{вх}$ и $u_{вых}$ для заданной частоты f знакопеременного прямоугольного сигнала $u_{вх}$. При этом предварительно найти амплитуду U_m прямоугольного сигнала $u_{вх}$, при которой выходной

сигнал $u_{вых}$ интегратора имеет пилообразную форму с амплитудой $U_{пm}$, равной максимальному напряжению на выходе ОУ ($U_{вых\ max}$ = 12 В).

Напряжение на выходе интегратора при постоянном входном сигнале изменяется по линейному закону

$$u_{вых}(t) = -\frac{U_{at} \cdot t}{T_u} + U_{вых}(0).$$

где $T_u = R_1 \cdot C_2$ – постоянная времени интегрирования;

$U_{вых}(0)$ – начальное напряжение на конденсаторе.

При периодическом прямоугольном входном сигнале напряжение на выходе интегратора имеет пилообразную форму с амплитудой $U_{пm}$ (рис. 10).

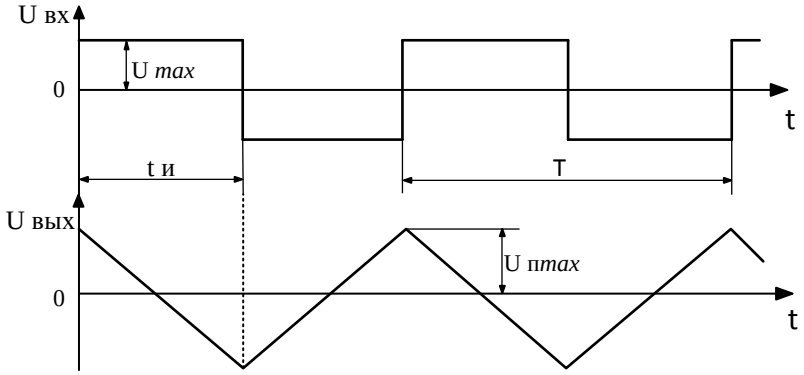


Рис. 10

В реальной схеме интегратора вследствие дрейфа нуля ОУ сигнал на выходе $u_{вых}$ оказывается смещенным относительно нуля. Для получения симметричного сигнала $u_{вых}$ относительно нуля примем $U_{пm} = U_{вых.max}$ и найдем требуемую амплитуду прямоугольного входного сигнала U_m. Для интервала времени t_u (рис. 10) подставим в уравнение (1): $u_{вых}(t) = - U_{пm} = - U_{вых.max}$; $t = t_u = T/2$; $U_{вх} = U_m$; $U_{вых}(0) = U_{пm} = U_{вых.max}$, тогда

$$U_m = \frac{4 \cdot U_{пm} \cdot T_u}{T},$$

где $T = 1/f$ – период прямоугольного входного сигнала.

2.2. Исследование интегратора:

а) собрать схему интегратора согласно рис. 11, установить заданное преподавателем по варианту значение емкости С;

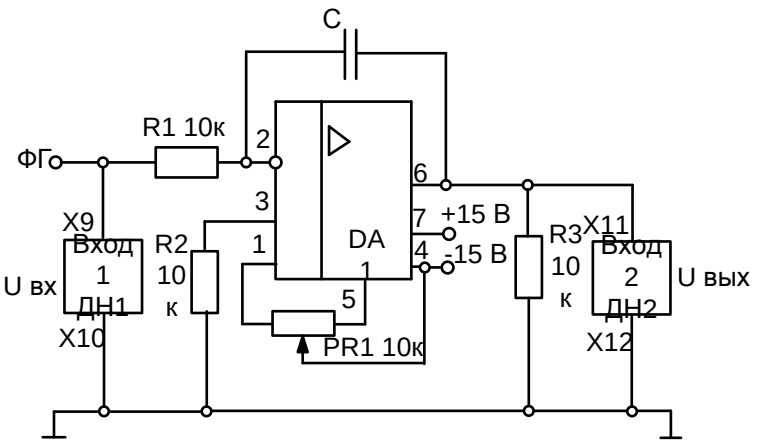


Рис. 11.

б) исследовать работу интегратора в режиме генератора пилообразного напряжения (рис. 10). Для этого на функциональном генераторе установить прямоугольное знакопеременное напряжение с заданной частотой f и амплитудой U_m, рассчитанной в п 2.1.в. Напряжение на входе $u_{вх}$ и на выходе $u_{вых}$ контролировать при помощи программы Delta Profi вкладка Осциллограммы. Для этого запустить программу, в левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование интегратора и активного фильтра», далее выбрать «Исследование интегратора».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

При необходимости подстроить потенциометром RP1 амплитуду U_m знакопеременного прямоугольного сигнала так, чтобы пилообразный выходной сигнал интегратора стал симметричным относительно нуля с амплитудой $U_{пт} = U_{вых.max}$ (рис. 10). Зарисовать осциллограммы $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$. Сравнить полученные результаты с расчетом по значениям U_m, f, $U_{пт}$;

в) снять и построить зависимость амплитуды выходного напряжения от частоты $U_{пт} = F(f)$ при постоянной амплитуде синусоидального входного напряжения. Амплитуды $U_{вхт}$ и $U_{выхт}$ замерять при помощи осциллографа.

Результаты заносить в таблицу. Построить зависимость $U_{выхm} = F(f)$. Выключить питание модуля.

2.3. Исследование активного фильтра:

а) собрать схему активного фильтра согласно рис. 12. Сопротивление резистора с переключением RP2 и величину емкости конденсатора С установить в соответствии с указанным преподавателем.

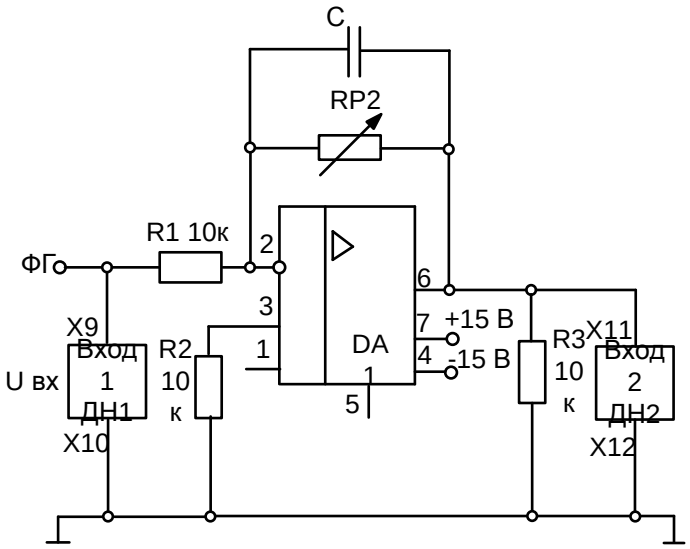


Рис. 12

б) снять и построить амплитудно-частотную характеристику активного фильтра при заданных параметрах элементов фильтра;

в) повторить опыт при других значениях параметров фильтра;

г) определить полосы пропускания исследованных активных фильтров.

Выключить питание.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) экспериментально снятые и построенные характеристики;

д) обработанные осциллограммы;

е) сделать выводы по работе: о влиянии частоты входного напряжения и емкости конденсатора обратной связи на амплитуду выходного пилообразного напряжения в интеграторе; о влиянии параметров на полосу пропускания активного фильтра.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое амплитудная и амплитудно-частотная характеристики усилителя?

2.Как получить на выходе интегрирующего усилителя пилообразное напряжение?

3. Как определяется постоянная времени интегрирования?

4. Какое соотношение должно быть между длительностью импульса, поступающего на вход интегрирующего усилителя, и постоянной времени интегрирования для того, чтобы на выходе избежать ошибки интегрирования?

5. Что такое активный фильтр?

6. Как определить по амплитудно-частотной характеристике полосу пропускания фильтра?

7. От каких элементов схемы и как зависит полоса пропускания активного фильтра?

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАРАТОРОВ

1. Цель работы:

Изучение схем включения операционных усилителей в качестве двухвходовых обычных и регенеративных компараторов.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметр	Количество
ОУ	Uпит = ± 15 В, $I_{вых.max}$ = 10 А, $U_{см}$ = 10 мВ	1
Потенциометр	2,2 кОм	1
Резистор	10 кОм	3
Резистор с переключателем	10 – 470 кОм	1

Таблица переключений

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сопротивление	10к	20к	30к	52к	74к	96к	152к	208к	264к	364к	470к

2. Задание и методические указания.

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Схемы включения операционного усилителя»; изучить содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схему соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) нарисовать временные диаграммы входного и выходного напряжений в регенеративном компараторе, если на инвертирующий вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой 3,0 В и частотой fвх, а на неинвертирующий – постоянное опорное напряжение $U_{оп}$.

Определить ширину петли гистерезиса $Uг = 2U_{пор}$, где $U_{пор}$ – напряжение порога срабатывания.

$$U_{пор} = \frac{U_{вых}R_3}{R_5 + R_3},$$

где $R5 = R_{ос2}$, $U_{вых} = \pm E = \pm 12\ В$.

2.2. Исследование двухвходового компаратора и регенеративного компаратора с положительной обратной связью (триггера Шмидта):

а) собрать схему двухвходового компаратора с положительной обратной связью согласно рис. 13. В качестве резистора обратной связи R3 применить переключаемый резистор 10…470 кОм. В качестве опорного напряжения $U_{оп}$ использовать регулируемое постоянное напряжение, контролируемое мультиметром. На инвертирующий вход подключить функциональный генератор, используя у него выход «~»;

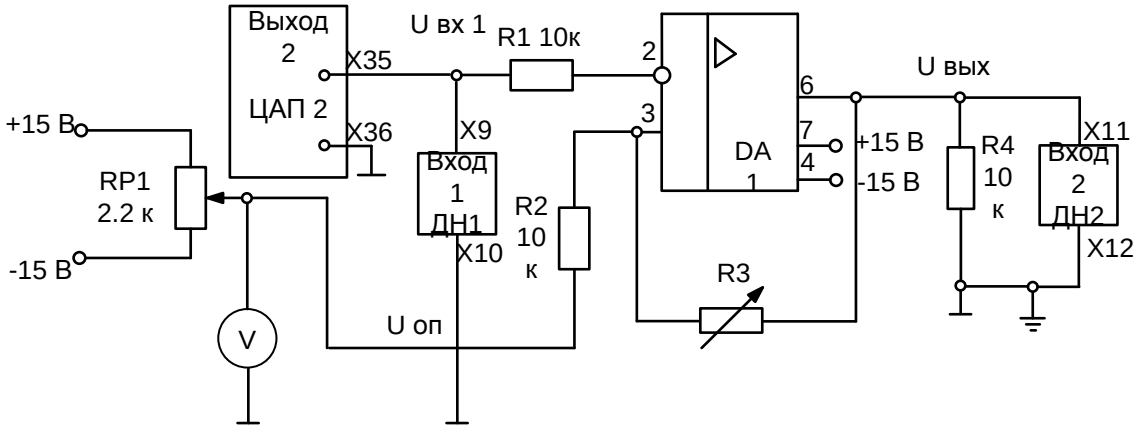


Рис. 13

б) снять характеристики передачи компаратора без обратной связи и для двух значений сопротивлений обратной связи при заданном опорном напряжении. Для измерения входного напряжения подключить его к входу 1 модуля ввода-вывода. Для измерения выходного напряжения подключить его к входу 2 модуля ввода-вывода. Запустить программу Delta Profi, в левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование компараторов».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Остановить программу.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) экспериментально снятые и построенные характеристики;

д) выводы по работе: сделать выводы о влиянии сопротивления в цепи обратной связи регенеративного компаратора на его передаточную характеристику.

4. Контрольные вопросы

1. Что называется компаратором?

2. Зачем в компараторе применяется положительная обратная связь?

3. Как получить периодические прямоугольные импульсы на выходе компаратора?

4. Как зависит вид характеристики передачи регенеративного компаратора от сопротивления обратной связи?

5. Как снять амплитудную характеристику компаратора при помощи осциллографа?

Лабораторная работа №9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

1. Цель работы

Изучение характеристик и функций простейших логических элементов.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметры	Количество
Микросхема 2И-НЕ		2
Потенциометр	10 кОм	1
Резистор	1 кОм	1
Резистор	10 кОм	2
Диод	1N4007	1
Тумблер		2

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Цифровые интегральные микросхемы», содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) построить временные диаграммы работы для логического элемента 2И-НЕ при заданной последовательности импульсов.

2.2. Исследование логического элемента 2И-НЕ:

а) проверить логику работы элемента 2И-НЕ, для чего собрать схему согласно рис. 14. На входы элемента через резисторы R1 и R2 подается + 15 В (единица), при включении тумблеров SA1 и SA2 на входы подаются нули.

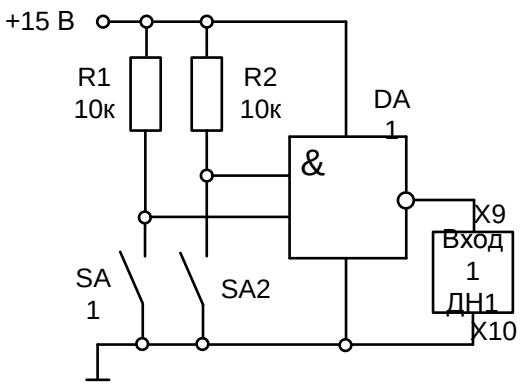


Рис. 14

Выходной сигнал контролируется с помощью модуля ввода-вывода и отображается на экране монитора, при помощи программы Delta Profi.

После загрузки программы автоматического управления Delta Profi, в левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Электроника (мини)».

В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование цифровых интегральных микросхем», далее «Исследование логического элемента 2И-НЕ». На экране ПК отображается электрическая схема и набор виртуальных измерительных приборов, необходимых в данном эксперименте.

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Включить стенд с помощью тумблера QF (модуль питания), а так же модуль ввода-вывода. Для контроля напряжения используются вход 1 (гнезда X9, X10). Задавая различные комбинации входных логических сигналов, измерить выходной сигнал, результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

$U_{B20\ B}$	U_{BX2}	$U_{BЫX}$
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Остановить программу нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Выбрать закладку «Осциллограммы», запустить программу, нажатием кнопки «Пуск» зарисовать осциллограммы напряжений на входе и выходе и проанализировать работу элемента 2И-НЕ.

2.3. Проверить работу логического элемента 2И-НЕ.

а) собрать схему приведенную на Рис. 15.

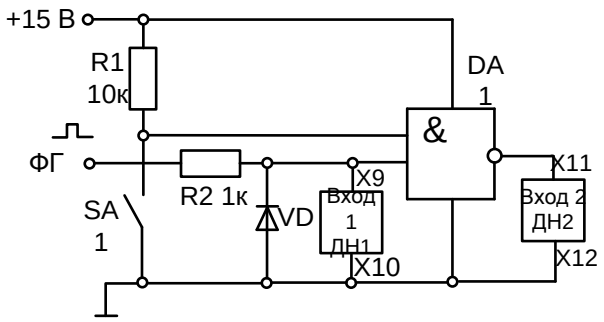


Рис. 15

Подавать прямоугольное напряжение частотой 100 Гц на вход 1, и постоянное напряжение 15 В на вход 2 элемента, используя тумблер SA1. Входные и выходные сигналы контролируются с помощью модуля ввода-вывода и отображаются на экране монитора при помощи программы Delta Profi (запустить Delta Profi, выбрать «Работа. Исследование цифровых интегральных микросхем», далее «исследование логического элемента 2И-НЕ №2»).

Зарисовать осциллограммы входных и выходных сигналов. На основе осциллограмм составить таблицу истинности элемента 2И-НЕ;

2.4. Снять передаточную характеристику логического элемента 2И-НЕ. Запустить Delta Profi выбрать: «Работа. Исследование цифровых интегральных микросхем», далее «передаточная характеристика». Собрать схему согласно рис. 16. Изменяя напряжение на входе, контролировать напряжение на выходе (измерения проводить, повышая входное напряжение от 0 до максимального, а затем снижая его до 0). Построить передаточную

характеристику. Определить уровни $U^0_{вых}$; $U^1_{вых}$; $U^0_{пор}$; $U^1_{пор}$; определить статическую помехоустойчивость $U^1_{п.ст}$; $U^0_{п.ст}$;

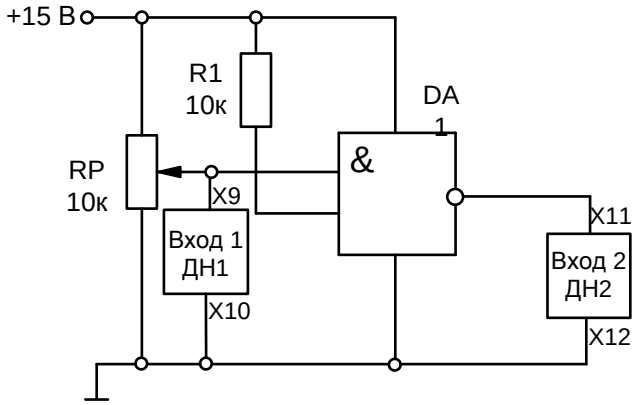


Рис. 16

2.5. Снять передаточную характеристику логического элемента 2И-НЕ на переменном токе в соответствии с рис. 17. Параметры микросхемы определяются аналогично рассмотренному в п. 2.2 принципу.

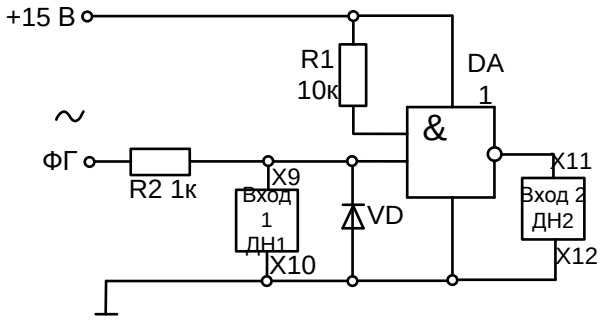


Рис. 17

2.6. Исследование RS-триггера с инверсным управлением:

а) собрать схему согласно рис. 18;

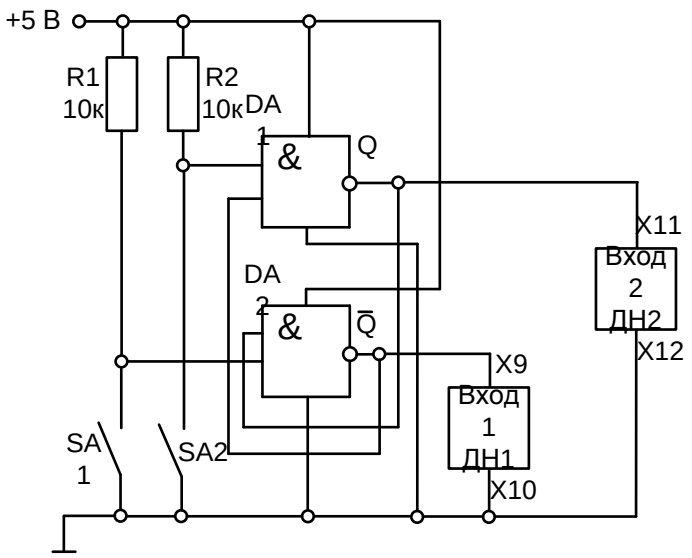


Рис. 18

Задать различные комбинации входных логических сигналов на входах R и S, с помощью тумблеров SA1 и SA2; составить таблицу переключений триггера. Результаты занести в табл. 2;

$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q_{t-1}	Q_t	$\overline{Q_t}$
0	1	1		
1	1	1		
1	0	1		
1	1	0		
0	1	0		
1	1	0		

Примечания:

1. Индекс t соответствует настоящему состоянию триггера, t-1 – предыдущему.

2. В состояние Q_t триггер переводить, подавая соответствующие логические сигналы на входы S и R.

3. Комбинация входных сигналов R = S = 0 считается запрещенной.

Подумайте почему.

Выполнить эту комбинацию сигналов.

б) составить таблицу переключений RS-триггера.

После проведения лабораторных работ выключить все задействованные в работе модули, а так же обесточить стенд (автоматический выключатель QF модуля питания).

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) таблицы состояний и временные диаграммы входных и выходных напряжений;

г) построенные характеристики;

д) обработанные осциллограммы;

е) выводы по работе.

4. Контрольные вопросы

1. Чем отличаются последовательные схемы от комбинационных?

2. Какие операции выполняет логический элемент 2И-НЕ?

3. Что такое передаточная характеристика логического элемента?

4. Как выглядят передаточные характеристики элементов И-НЕ?

5. Составьте таблицу истинности и нарисуйте схемное обозначения трехвходовых логических элементов И-Не.

6. Дайте определение триггера?

7. Что означает термин «запрещенная комбинация» для RS – триггера?

8. Какой выход триггера называют прямым, а какой инверсным?

9. При каких комбинациях входных сигналов состояние RS – триггера изменяется?

Лабораторная работа №10

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы

Ознакомление с применением тиристоров в управляемых выпрямителях.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметры	Количество
Тиристор	1 А	1
Резистор	1,5 кОм	1
Резистор	120 Ом	1
Резистор	10 Ом	1
Конденсатор	220 мкФ	1
Конденсатор	1 мкФ	1
Дроссель	200 мГн	1
Потенциометр	10 кОм	1

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Управляемые выпрямители» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u, выпрямленного напряжения u_d, анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a для заданного угла управления при активной нагрузке.

2.2. Экспериментальное исследование однополупериодного управляемого выпрямителя на тиристоре в режиме активной нагрузки.

а) собрать схему управляемого выпрямителя пи рис. 19. Цепь RP1, C служит для изменения фазы напряжения, подаваемого на управляющий электрод. Тумблер SA1 замкнут.

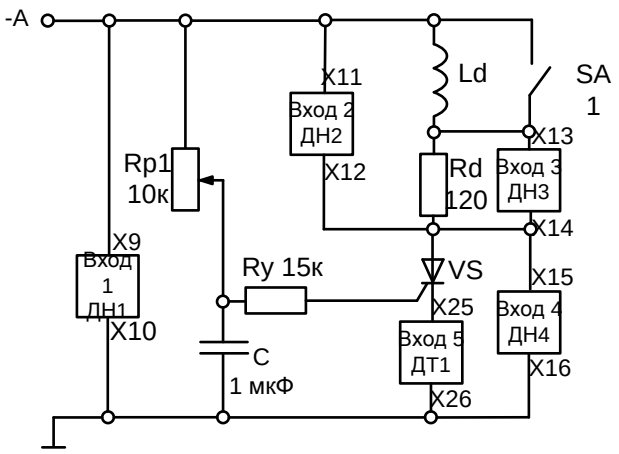


Рис. 19

Напряжения и ток контролируются модулем ввода-вывода и отображаются на экране монитора, при помощи программы Delta Profi. Для этого необходимо загрузить программу. В левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Электроника мини». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование однополупериодного управляемого выпрямителя». На экране ПК отображается электрическая схема и набор виртуальных измерительных приборов, необходимых в данном эксперименте. Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

Включить стенд с помощью тумблера QF (модуль питания), а так же модуль ввода-вывода. В качестве питания использовать трехфазный источник. Для контроля вида сигналов использовать входы: 1, 2, 3, 4 и вход 5 модуля ввода-вывода (гнезда X9…X16 и X25, X26 соответственно).

б) установить заданный угол управления, регулируя сопротивление реостата RP1; снять осциллограммы напряжения на тиристоре u_a и анодного тока i_a. Снять осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке u_d, для

чего остановить программу нажатием кнопки «Стоп» ■ или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Выбрать закладку «Осциллограммы», запустить программу и зарисовать осциллограммы с экрана монитора.

в) снять регулировочную характеристику выпрямителя $U_d = f(\alpha)$. Регулируя сопротивление реостата RP1, изменять угол управления α и построить регулировочную характеристику;

г) включить в цепь нагрузки индуктивности L_d (тумблер SA1 разомкнут), снять те же осциллограммы при заданном угле управления и активно-индуктивной нагрузке;

д) снять регулировочную характеристику тиристора $U_d = f(\alpha)$ при активно-индуктивной нагрузке и нанести ее на тот же график, что и регулировочную характеристику при активной нагрузке;

е) режим активно-индуктивно-емкостной нагрузки. Собрать схему согласно Рис. 20. Включить конденсатор параллельно активному сопротивлению нагрузки (тумблер SA2 замкнут), снять те же осциллограммы при заданном угле управления и активной нагрузке (при малых пульсациях напряжения на конденсаторе это эквивалентно работе на противо-ЭДС); дополнительно снять осциллограмму напряжения на конденсаторе (Вход 3 ДН3).

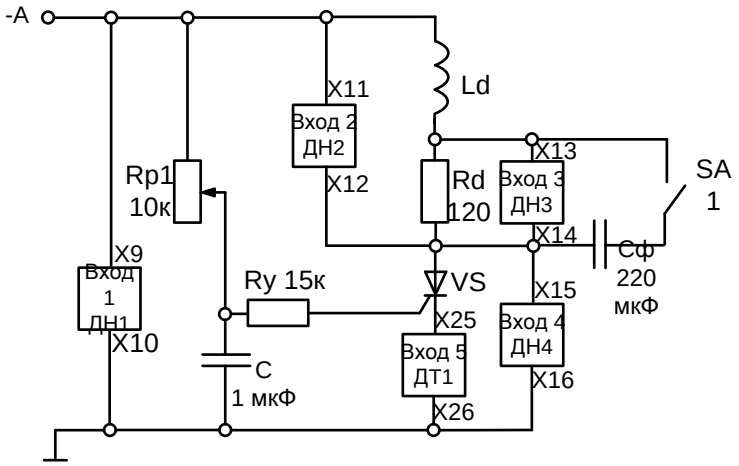


Рис. 20

ж) снять регулировочную характеристику тиристора $U_d = f(\alpha)$ при активно-индуктивно-емкостной нагрузке и нанести ее на тот же график, что и регулировочную характеристику при активной нагрузке;

В конце проведенной работы выключить трехфазный источник питания (SA1 + SA2), модуль ввода вывода и модуль мультиметров. Обесточить стенд при помощи автоматического выключателя QF.

Остановить программу нажатием кнопки «Стоп» ■ или командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований, помещенные в соответствующие таблицы и построенные по ним регулировочные характеристики;

г) обработанные осциллограммы;

д) выводы по работе, ответить на контрольные вопросы 3 – 5.

4. Контрольные вопросы

1. Как работает управляемый выпрямитель?

2. Как и для чего строят временные диаграммы токов и напряжений в схеме выпрямителя?

3. Как и почему влияет конденсатор фильтра на форму напряжения на нагрузке и на форму анодного тока?

4. Как влияет конденсатор на величину напряжения на нагрузке?

5. Как и почему влияет дроссель на напряжение на нагрузке и форму анодного тока?

Лабораторная работа №11

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы

Исследование параметров и характеристик параметрических стабилизаторов постоянного напряжения.

Перечень минимодулей

Наименование минимодулей	Параметры	Количество
Стабилитрон	4,7 В	1
Потенциометр	2,2 кОм	1
Резистор	150 Ом	1

2. Задание и методические указания

2.1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Диоды», «Стабилизаторы» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) для идеализированной ВАХ стабилитрона построить линию нагрузки, если напряжение стабилизации стабилитрона $U_{ст}$ = 6,8 В, его дифференциальное сопротивление $r_д$ на участке стабилизации равно нулю, напряжение питания $U_п$ задается преподавателем. Определить ток $I_б$ через балластный резистор;

2.2. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при отсутствии нагрузки:

а) собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (рис. 21).

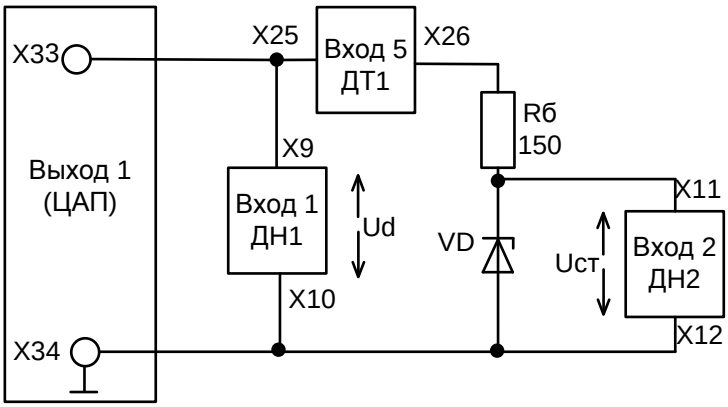


Рис. 21

Источником входного напряжения служит управляемый от ПК аналоговый выход ЦАП-1 модуля ввода-вывода. Для измерения анодного тока включить Вход 5 ДТ 1. Для измерения напряжения на входе стабилизатора подключить его к входу 1 ДН 1 модуля ввода-вывода. Для измерения напряжения на выходе стабилизатора подключить его к входу 2 ДН 2 модуля ввода-вывода;

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{ст} = f(U_d)$. Для этого в левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся окне работ выбрать «Работа. Исследование параметрического стабилизатора напряжения», далее «при изменении питающего напряжения».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командной главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5. Наблюдать за процессом снятия характеристики. Определить напряжение стабилизации стабилизатора $U_{ст}$;

в) определить коэффициент стабилизации стабилизатора $K_{ст}$ на участке стабилизации: $K_{ст} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_{ст}}$.

2.3. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении нагрузки.

а) подключить на выход параметрического стабилизатора напряжения изменяющуюся нагрузку RP2 (рис. 22).

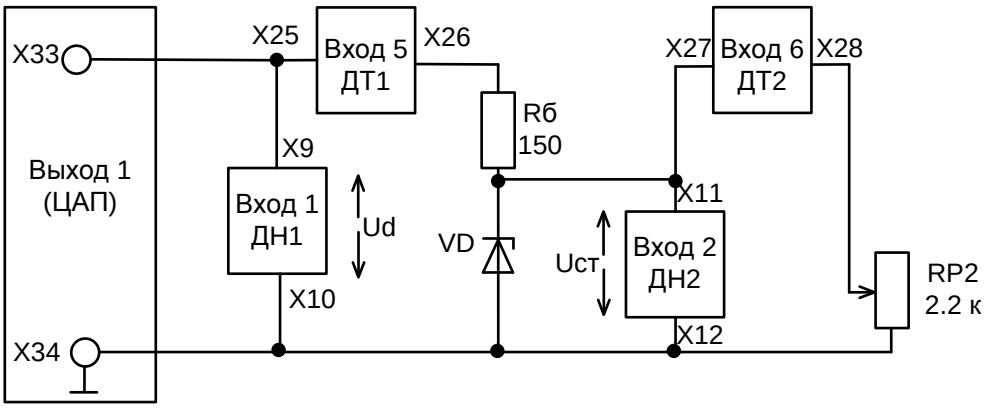


Рис. 22

Для измерения тока нагрузки $I_н$ включить Вход 5 ДТ 1 модуля ввода-вывода. Для измерения напряжения на входе стабилизатора подключить его к входу 1 ДН1 модуля ввода-вывода. Для измерения напряжения на выходе стабилизатора подключить его к входу 2 ДН 2 модуля ввода-вывода.

б) снять зависимость выходного напряжения от тока нагрузки. Для этого в левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование параметрического стабилизатора напряжения», далее «при изменении нагрузки».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5. Плавно вращать ручку потенциометра RP2 от максимального до минимального значения (и назад) в течение 20…30с;

в) определить выходное сопротивление $R_{вых}$ на участке стабилизации и сравнить его с вычисленным в п. 2.3. $R_{вых} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}} = \left|\frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_н}\right|$.

2.4. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при наличии нагрузки:

а) в схеме рис. 22 установить ток нагрузки равным половине максимально-допустимого $I_{нmax}$, определенного в п. 2.1. в.

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{ст} = f(U_d)$. Для этого в левом верхнем углу в окне программы выбрать меню «Работы». Одинарный щелчок левой кнопкой мыши приводит к появлению контекстного меню, в котором надо выбрать раздел «Основы электроники (мини)». В появившемся списке работ выбрать «Работа. Исследование параметрического стабилизатора напряжения», далее «при изменении питающего напряжения».

Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) экспериментально снятые и построенные характеристики;

д) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 5, 6.

4. Контрольные вопросы

1. Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?

2. Как работает параметрический стабилизатор напряжения?

3. Для чего служит балластный резистор?

4. Как изменится напряжение на выходе стабилизатора при повышении температуры?

5. При каком минимальном напряжении на входе стабилизатора еще возможна стабилизация напряжения? От чего оно зависит?

6. От каких параметров и как зависит качество стабилизации напряжения?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков, Ю.А. Основы теоретической электротехники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.А. Бычков, В.М. Золотницкий, Э.П. Чернышев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2009. — 592 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/36. — Загл. с экрана.

2. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2009. — 592 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/90. — Загл. с экрана.

3. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.И. Атабеков [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 432 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/644. — Загл. с экрана.

4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи в 2 ч. Часть 1. : учебник для академического бакалавриата / Л. А. Бессонов. — 12-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 364 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-02622-1. — Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/AFCC1C9F-B134-4FCA-9696-92B9E8618C67.

5. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи в 2 ч. Часть 2. : учебник для академического бакалавриата / Л. А. Бессонов. — 12-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 346 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-02624-5. — Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/02071354-3E5E-46FD-B5DF-CF442E2A09EA

6. Теоретические основы электротехники [Текст] : учеб.-метод. пособие : рек. УМС / В. И. Усенко [и др.] ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017 - Ч. 1 : Анализ линейных электрических цепей в установившихся режимах. - 2017. - 144 с.

Наталья Сергеевна Бодруг,
старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники ФГБОУ ВО «АмГУ»

Скрипко Ольга Валерьевна
доктор техн. наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники ФГБОУ ВО «АмГУ»

Теоретические основы электротехники. Часть 2

Методические указания к лабораторным работам.