

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

А. К. Пронина

СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СИЛОВАЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания
к лабораторным работам
для студентов специальности
26.05.07 – Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики
очной и заочной формы обучения

Часть 1

Севастополь
СевГУ
2023

УДК 621.314:629.5(076.5)

ББК 31.264.5:39.46я73

П81

Р е ц е н з е н т :

С.А. Конева – доцент кафедры «Судовое электрооборудование»,
канд. техн. наук, доцент

Пронина, А.К.

П81 Судовая электроника и силовая преобразовательная техника: методические указания к выполнению лабораторных работ. Ч. 1 / А.К. Пронина; Севастопольский государственный университет, Морской институт. – Севастополь: СевГУ, 2023. – 39 с. – Текст : электронный.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, Морского института, специальности 26.05.07 – Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики, выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника», часть 1.

УДК 621.314:629.5(076.5)
ББК 31.264.5:39.46я73

Рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры «Судовое электрооборудование» Морского института ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в качестве методических указаний по дисциплине «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» для студентов специальности 26.05.07 – Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики, протокол № 11 от 17 мая 2023 г.

© Пронина А.К., 2023
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	4
Работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ	9
Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО.....	12
СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ.....	12
Работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА	15
Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА	18
Работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ	21
Работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ	24
Работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ	27
Работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАРАТОРОВ	30
Работа № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРА	32
Работа № 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	34
Работа № 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРОВ	36

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Общее описание стенда

Методические указания предназначены для проведения лабораторно-практических занятий по курсу «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника»

Для проведения лабораторных работ по электронике используется моноблок «Основы электроники», представленный на рис. 1.



Рис. 1 – Внешний вид моноблока «Основы электроники»

Моноблок включает в себя:

1) модуль питания, обеспечивающий ввод однофазного напряжения ~ 220 В, получение низковольтного переменного напряжения ~ 12 В и постоянных напряжений питания $+12$ В и -12 В.

2) измерительные приборы, позволяющие:

- выполнять стрелочными приборами измерения постоянного тока;
- выполнять с помощью цифровых приборов измерения напряжения в цепях постоянного и переменного тока;
- обеспечивать с помощью функционального генератора подачу измерительных сигналов синусоидальной и прямоугольной формы к исследуемому устройству;

3) регуляторы напряжений $RP1$ и $RP2$, позволяющие изменять подаваемые на них от источника питания напряжения без ограничения либо с ограничением тока (резисторами $R1$ и $R2$) в зависимости от исследуемой схемы;

4) систему импульсно-фазового управления (СИФУ) для управления тиристорами и симистором;

5) для работы с логическими элементами в моноблоке предусмотрены блоки логических уровней («0» и «1»), импульсов (единичного и нулевого) и генератор положительных импульсов различных частот;

6) собственно блок-схемы:

- диоды и тиристоры;
- транзисторы;
- операционный усилитель;
- логические элементы.

2. Цель лабораторных занятий

Важнейшей частью курса «Судовая электроника и силовая преобразовательная техника» является лабораторный практикум. Чтобы знать основы электроники, необходимо научиться самостоятельно решать разнообразные задачи в области электроники. Решение этих задач может быть получено, как известно, аналитическим или экспериментальным методом. Экспериментальные методы решения изучаются на лабораторных занятиях.

Лабораторные занятия дают возможность:

- закрепить на практике теоретические сведения о работе различных электронных устройств;
- подробно ознакомиться с устройством и характеристиками наиболее важных электронных приборов, составляющих предмет лабораторной практики:
- овладеть практическими способами управления и настройки электронных устройств на заданный режим;
- получить практические навыки в проведении измерений электрических величин, пользовании различными измерительными приборами, чтении электрических схем, построении графиков и характеристик,
- изучить технику проведения экспериментального исследования физических моделей или промышленных образцов электронных устройств;
- выработать умение рассуждать о рабочих свойствах и степени пригодности исследованных электронных устройств для решения тех или иных задач.

3. Подготовка к лабораторному занятию

Экспериментальные задачи, предлагаемые на лабораторных занятиях, могут быть успешно решены в отведенное в соответствии с расписанием занятий время только при условии тщательной предварительной подготовки к каждой из них.

Студент, в первую очередь, должен твердо уяснить цель задания и четко представлять назначение устройства, его условное обозначение на электрических схемах, принцип действия и основные характеристики.

Затем, по материалам руководства необходимо ознакомиться с основными параметрами объекта исследования, источников питания и других используемых в стенде преобразователей и пускорегулирующих аппаратов. Эти сведения нужны для определения диапазона возможного изменения величин и необходимого режима работы объекта исследования.

Требуемые расчетные соотношения и формулы следует найти и записать самостоятельно на основе изучения учебных пособий.

Особое внимание следует уделить измерительным приборам. В соответствии с каждым этапом рабочего задания необходимо проанализировать схему соединений, состоящую из элементов объекта исследования и электроизмерительных приборов. При этом рекомендуется заготовить таблицы для записи показаний приборов.

Одним из важных этапов подготовки к выполнению лабораторной работы является изучение технологии проведения эксперимента, используя методические рекомендации к выполнению рабочего задания.

Завершает этап подготовки к выполнению лабораторной работы составление ответов на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях.

4. Проведение эксперимента

Получив разрешение преподавателя на проведение лабораторного исследования, следует немедленно приступить к сборке электрических цепей на рабочем месте. Рекомендуется придерживаться следующего порядка, значительно облегчающего работу по сборке и избавляющего от многих ошибок при соединениях. Общим правилом является соединение сначала участков цепи с последовательным соединением элементов и приборов, а затем параллельных ветвей как объекта исследования, так и приборов.

Этот прием позволяет сознательно подойти к оценке назначения каждого элемента цепи и тем самым правильно осуществить её сборку.

Одновременно со сборкой цепи надо произвести маркировку измерительных приборов в соответствии с их условными обозначениями на рабочей схеме соединений. Маркировку приборов можно выполнить с помощью бумажных бирок, которые заготавливает учащийся, выполняющий лабораторное исследование.

Во избежание возможного возникновения больших токов в собранной цепи элементы регулирования потенциометров необходимо устанавливать в положение, соответствующее минимуму напряжения на выходе (положение «0»).

Собранную цепь следует обязательно показать для проверки преподавателю. Только с его разрешения можно включить источник питания и произвести предварительное опробование работы цепи, чтобы убедиться в возможности проведения опыта при заданных пределах измерения величин. Нельзя приступать к измерениям, не будучи совершенно уверенным, что цепь собрана правильно.

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

При снятии характеристик недопустимо превышать номинальные значения токов и напряжений испытываемого электронного устройства, если нет особых указаний в руководстве по лабораторному эксперименту. В случае,

если стрелка какого-либо прибора выходит за пределы шкалы, надо немедленно отключить цепь от источника питания, доложить преподавателю и изменить условия эксперимента (уменьшить напряжение питания, увеличить диапазон изменения сопротивления и т.д.).

После предварительного опробования цепи, проверки или оценки диапазона изменения переменного параметра необходимо наметить последовательность отдельных манипуляций и отсчетов, а затем приступить к наблюдениям.

Отсчеты рекомендуется проводить по возможности одновременно по всем приборам. Следует избегать перерыва начатой серии наблюдений и во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных наблюдений, их необходимо повторить несколько раз.

Результаты всех первичных наблюдений и отсчетов записывают в таблицу протокола испытаний. Запись отсчетов должна вестись в точном соответствии с показаниями измерительных приборов. Протоколы наблюдений являются единственным документальным следом, остающимся от измерений, поэтому от точной и своевременной фиксации в таблицах результатов отсчета в значительной степени зависит успех экспериментальной работы.

При переходе от одного этапа исследования к другому необходимо каждый раз обращаться к преподавателю за проверкой правильности полученных результатов, которые представляют в виде таблиц или графиков.

К следующему этапу работы разрешается приступить только после проверки и визирования протокола преподавателем.

5. Обработка результатов и оформление отчета

Каждый студент самостоятельно должен обрабатывать данные опытов и подготовить отчет по каждой проделанной работе.

В отчете на титульном листе указываются название учебного заведения, кафедры. Номер и наименование работы, фамилия и инициалы студента, выполнившего работу, номер его академической группы.

Отчет должен содержать, паспортные данные объекта исследования, схемы соединения элементов объекта исследования с включенными измерительными приборами, таблицы с записью результатов эксперимента, обработанные осциллограммы, графики зависимостей и векторные диаграммы.

После проведения эксперимента должны быть сделаны основные выводы, полученные в результате исследования.

Каждая схема должна быть сопровождена соответствующей таблицей записей результатов измерений и графиком, иллюстрирующим изучаемые зависимости. В таблице обязательно следует указывать, в каких единицах измерены исследуемые величины. Все таблицы необходимо снабдить заголовками, характеризующими проводимый опыт.

На основании результатов измерений проводится их окончательная обработка. Измеренные и вычисленные величины заносятся в соответствующие колонки одной и той же таблицы.

Вычерчивание схем и таблиц рекомендуется производить карандашом обязательно с помощью линейки.

Особое внимание надо уделить графикам зависимостей между величинами, т.к. они являются наглядным результатом работы, графическим ответом на вопросы, поставленные в лабораторной работе.

При построении графиков по осям приводят стандартные буквенные обозначения величин и единиц их измерения, указывают деления с одинаковыми интервалами, соответствующие откладываемым величинам в принятых единицах измерения или в десятичных кратных либо дольных единицах.

Числовые отметки у масштабных делений принято выбирать так, чтобы они составляли $10^{\pm n}$, $2 \cdot 10^{\pm n}$ или $5 \cdot 10^{\pm n}$ от тех единиц, в которых выражены величины, откладываемые по осям. Например, 10 мА; 10 Ом; 2 В.

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 величины. 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. Если в одних координатных осях строят несколько графиков функций одной независимой переменной, то следует провести дополнительные шкалы параллельно основным, каждую со своим масштабом. Если величины по осям абсцисс и ординат отложены в определенном масштабе с числовыми отметками, то не следует ставить стрелок, указывающих направление роста численных значений величин. Наименование единиц измерения дается без скобок. При вычерчивании графиков надо учитывать, что всякое измерение имеет случайные погрешности (истинное значение измеряемой величины остается неизвестным, а вместо него принимают некоторое её значение, признаваемое за наиболее приближающееся к истинному). Поэтому не следует проводить кривые через все экспериментальные точки. На графике необходимо проводить плавные непрерывные кривые, которые проходят среди экспериментальных точек. Отступление некоторых точек от плавной кривой называют «разбросом точек». Величина разброса при наблюдении закономерных явлений определяет тщательность проведения эксперимента.

При наличии нескольких кривых на одном графике точки, соответствующие опытным данным и относящиеся к различным кривым, должны быть помечены условными значками (крестиками, кружками и т. п.).

Каждый график обязательно должен быть снабжен таким лаконичным текстом, чтобы любой достаточно подготовленный читатель мог легко понять, какую зависимость характеризует построенный график.

На последней странице отчета следует указать дату оформления и поставить подпись.

Работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров диодов – выпрямительного, Шоттки, стабилитрона и светодиода.

2. Задание и методические указания

Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «р-п 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;

3. Экспериментальное исследование выпрямительного диода

а) собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе в соответствии с принципиальной схемой рис. 1. Для измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока с пределом 100 мА. Для измерения анодного напряжения использовать мультиметр. Последовательно с диодом включить токоограничивающий резистор R_H .

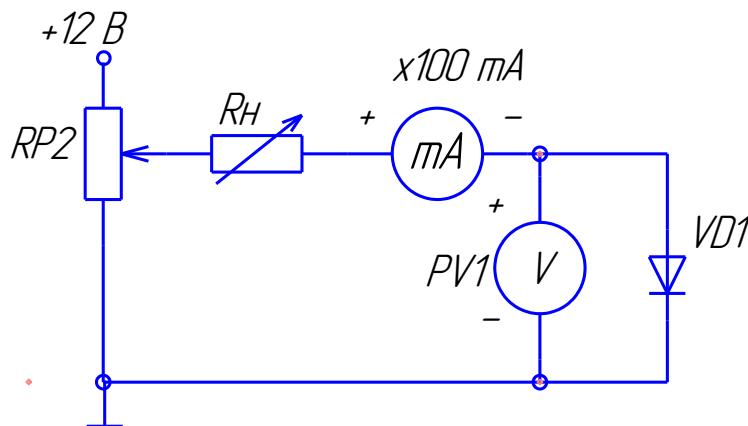


Рис. 1 – Схема исследования выпрямительного диода на постоянном токе (прямая ветвь ВАХ)

Снять вольтамперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе для прямой ветви (рис. 1); для снятия характеристик регулировать напряжение на выходе потенциометра; результаты измерений занести в таблицу, по которой построить прямую ветвь ВАХ;

б) собрать схему для снятия обратной ветви ВАХ VD1, подключив к RP2 источник -12 В и заменив миллиамперметр, поменяв также его полярность подключения (рис. 2); снять обратную ветвь ВАХ диода;

в) 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 и дифференциальное сопротивление r_d ;

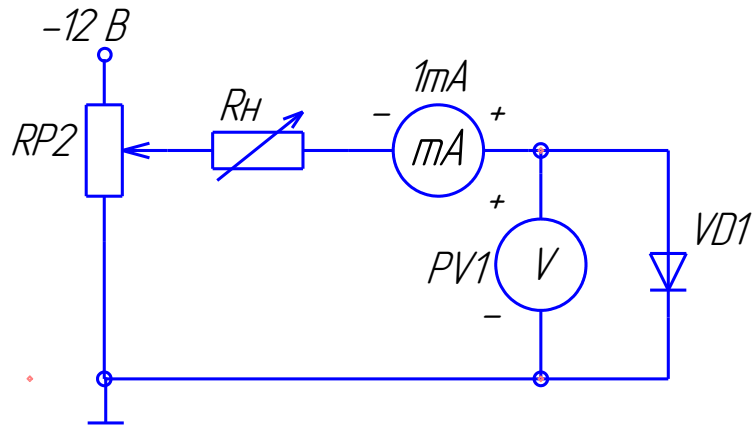


Рис. 2 – Схема исследования выпрямительного диода на постоянном токе (обратная ветвь ВАХ)

г) собрать схему для получения ВАХ диода на экране осциллографа. Исследование выпрямительного диода выполняется на переменном токе в соответствии с принципиальной схемой рис. 3. Вход **Y** (CH2) осциллографа подключить к шунту RS2, а корпус осциллографа ($\perp$) соединить с общим проводом ($\perp$). Вход **X** (CH1) осциллографа подключить к аноду диода. При этом переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение **X/Y**. Светящуюся точку на экране осциллографа поместить в начало координат. Подать питание. Зарисовать ВАХ диода, определить масштабы по току и напряжению;

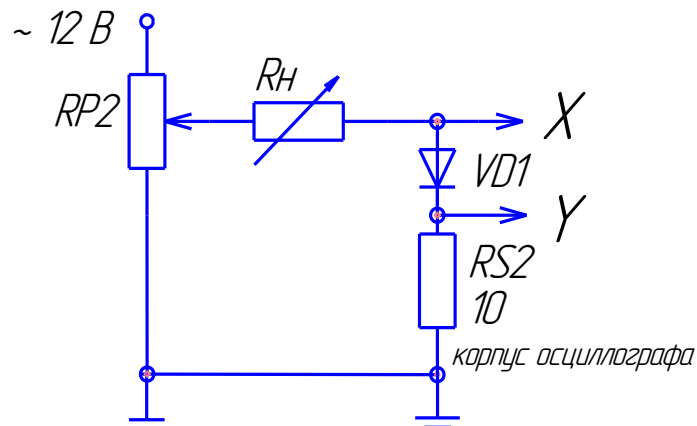


Рис. 3 – Схема исследования осциллограмм ВАХ выпрямительного диода

д) определить по осциллограмме параметры диода: максимальное напряжение между анодом и катодом в открытом состоянии U_{am} при максимальном анодном токе I_{amax} , пороговое напряжение U_0 и дифференциальное сопротивление r_d , сравнить с результатами, полученными на постоянном токе.

4. Экспериментальное исследование диода Шоттки

Выполнить пункты 2а, в для диода Шоттки, используя схему рис. 1. ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.3. Сравнить ВАХ и параметры диода Шоттки с параметрами и ВАХ обычного выпрямительного диода.

5. Экспериментальное исследование стабилитрона

Выполнить пункты 2а, б, г для стабилитрона, включив в схему резистор Rб. ВАХ построить на том же рисунке, что и в п.3. Сравнить ВАХ стабилитрона и ВАХ обычного выпрямительного диода. По ВАХ, снятым на постоянном и переменном токе, определить напряжение стабилизации $U_{ст}$ и дифференциальное сопротивление $r_{дст}$ (на участке стабилизации), сравнить результаты.

6. Экспериментальное исследование светодиода

Собрать схему для исследования прямой ветви ВАХ светодиода на постоянном токе подобно рис. 1, заменив VD1 на VD3, и подключив в качестве токоограничивающего резистора $R_b = 1 \text{ кОм}$; снять ВАХ и построить ее на том же рисунке, что и в п.3. Определить ток, при котором становится заметным свечение.

7. 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) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 11 – 13.

8. Контрольные вопросы

1. Каковы свойства p - n перехода? Объясните вид ВАХ p - n перехода?
2. Как влияет температура на различные участки ВАХ диода?
3. Как снять по точкам ВАХ диода?
4. Почему на схемах рис. 1 и 2 по-разному включены измерительные приборы?
5. Как снять ВАХ диода с помощью осциллографа?
6. Поясните вид ВАХ стабилитрона. Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?
7. Как зависит напряжение стабилизации от температуры?
8. От чего зависит яркость свечения светодиода?
9. Каким образом на экране осциллографа получается изображение периодической функции времени?

Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

1. Цель работы

Исследование параметров и характеристик параметрических стабилизаторов постоянного напряжения.

2. Задание и методические указания

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 для заданного напряжения стабилизации стабилитрона U_{cm} , его дифференциальное сопротивление r_d на участке стабилизации равно нулю, напряжение питания U_{II} задается преподавателем. Определить ток I_b через балластный резистор;

3. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при отсутствии нагрузки

а) собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (рис. 1). Для измерения анодного тока включить миллиамперметр постоянного тока РА на пределе 100 мА. Для измерения напряжений на входе и выходе стабилизатора включить мультиметры PV1, PV2.

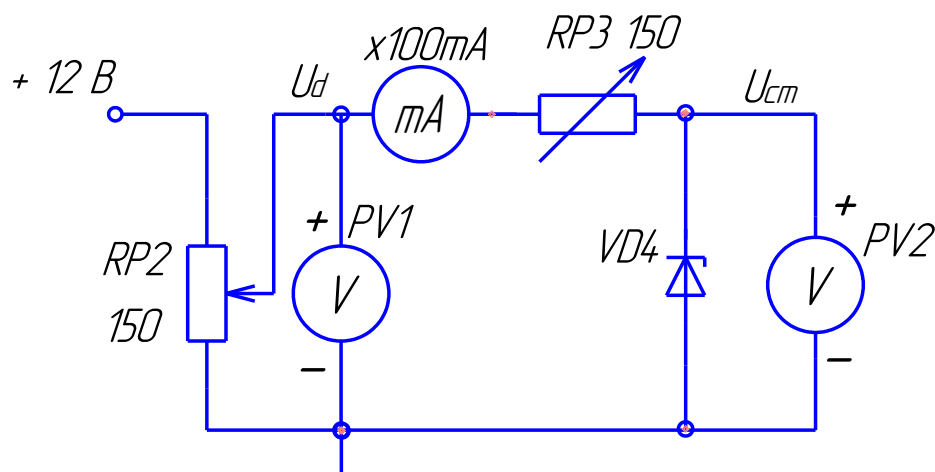


Рис. 1 – Схема исследования параметрического стабилизатора напряжения без нагрузки

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром RP2 напряжение питания U_d на входе стабилизатора, измерять соответствующее ему выходное

напряжение U_{cm} . Особенно тщательно отметить напряжение питания, при котором начинается стабилизация. Одновременно измерять ток I_d , потребляемый стабилизатором. Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$;

Определить напряжение стабилизации стабилизатора U_{cm} .

в) определить коэффициент стабилизации стабилизатора K_{cm} на участке стабилизации:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_{cm}}.$$

4. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении нагрузки

а) подключить на выход параметрического стабилизатора напряжения изменяющуюся нагрузку R_H (рис. 2). Для измерения тока нагрузки I_H включить миллиамперметр с пределом 100 мА;

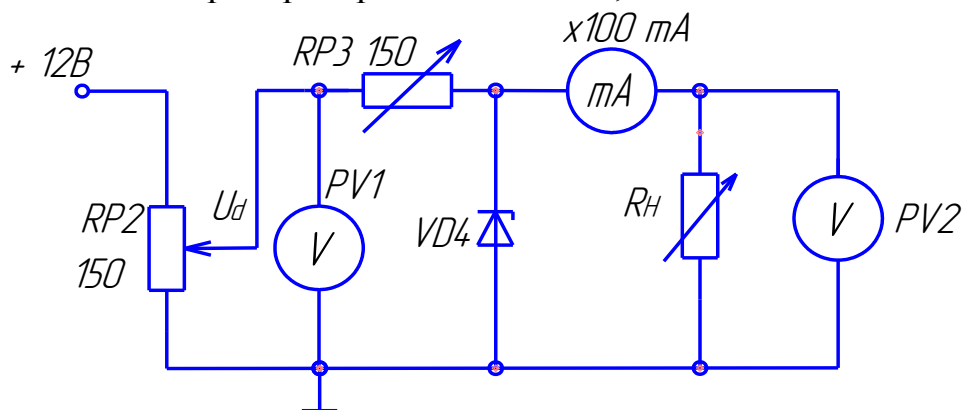


Рис. 2 – Схема исследования параметрического стабилизатора напряжения при изменении нагрузки

б) снять зависимость выходного напряжения от тока нагрузки. При регулировании сопротивления нагрузки, потенциометром RP2 поддерживать постоянным напряжение питания U_d на входе стабилизатора, равным 10 В. Особенно тщательно отметить ток нагрузки I_{Hmax} , при котором прекращается стабилизация U_{cm} . Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от тока нагрузки: $U_{cm} = f(I_H)$;

в) определить выходное сопротивление $R_{вых}$ на участке стабилизации и сравнить его с определенным в п.2.

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}} = \left| \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_H} \right|.$$

5. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении питающего напряжения при наличии нагрузки

а) в схеме рис. 2 установить ток нагрузки равным половине максимально допустимого I_{Hmax} , определенного в п. 4.

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром RP2 напряжение питания U_d на входе стабилизатора, измерять соответствующее ему выходное напряжение U_{cn} . Особенно тщательно отметить напряжение питания U_d , при котором начинается стабилизация. Одновременно измерять ток, потребляемый стабилизатором. Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$; зависимость нанести на тот же график, что и в п.3; обратить внимание на различия характеристик и объяснить их.

6. 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) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 5, 6.

7. 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?

Работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

1. Цель работы

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

2. Задание и методические указания

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;

3. Экспериментальное исследование характеристик биполярного транзистора

а) собрать схему для снятия характеристик прямой передачи по току биполярного транзистора (рис.1). Для измерения тока базы подключить миллиамперметр РА1 (до 1 мА), а для измерения тока коллектора подключить РА2 (до 100 мА). Для измерения напряжения на коллекторе использовать вольтметр PV1; в качестве резистора в цепи коллектора использовать резистор RP3 (по указанию преподавателя);

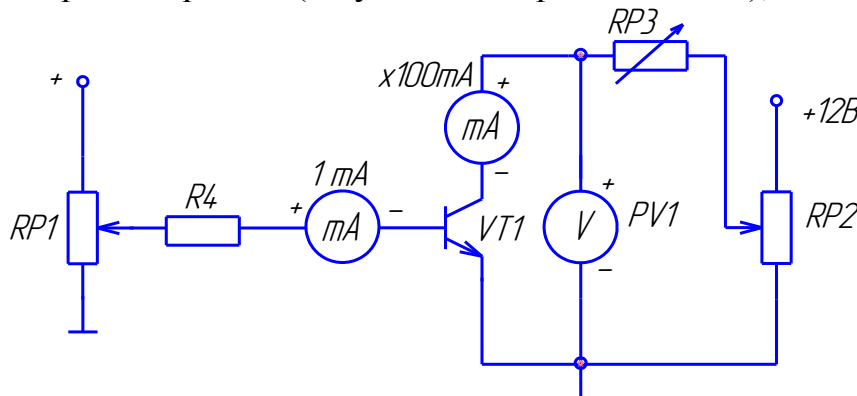


Рис. 1 – Схема исследования характеристик биполярного транзистора

б) снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_k = f(I_o)$ при U_k , равном заданному значению E_k и $R_k = 0$. Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на график. При снятии характеристики следить за постоянством напряжения U_k по вольтметру;

в) снять характеристику прямой передачи по току при наличии заданного сопротивления нагрузки R_k (рис. 1). С помощью потенциометра RP1 установите ток базы, равный нулю, а с помощью потенциометра RP2 установите заданное значение E_k . В дальнейшем ручку регулировки RP2 не трогать. В области вблизи насыщения точки снимать чаще;

г) по построенной в п. 2 характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток $I_{\text{б max}}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа. Собрать схему в соответствии с рис. 2. Вход Y (CH2) осциллографа подключить к шунту $R_{\text{ш}}$, а корпус осциллографа ($\perp$) соединить с общим проводом ($\perp$). Вход X (CH1) осциллографа подключить к коллектору. При этом переключатель развёртки осциллографа должен быть приведен в положение X/Y. Установить потенциометр RP1 в крайнее левое положение, соответствующее минимальному сопротивлению. Включить питание. Изменять ток базы от 0 до максимума (но не более 1 мА), пронаблюдать семейство выходных характеристик; зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений тока базы: $I_{\text{б1}} = 0$; $I_{\text{б2}} = 0,5 I_{\text{б max}}$; $I_{\text{б3}} = I_{\text{б max}}$. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

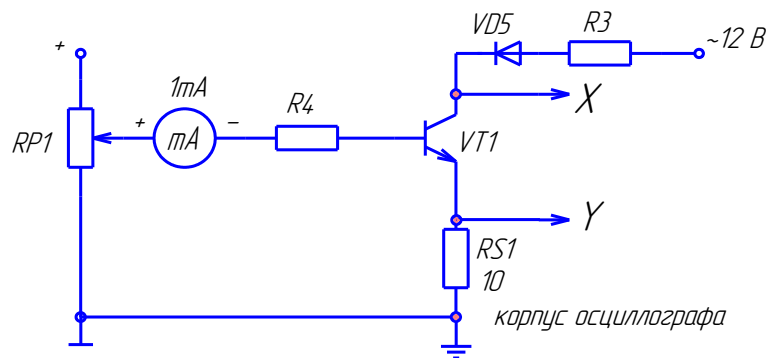


Рис. 2 – Схема исследования выходные статических ВАХ с помощью осциллографа

4. 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; определить по экспериментальным характеристикам прямой передачи по току статический коэффициент передачи тока β и коэффициент усиления каскада по току K_i при заданной нагрузке вблизи рабочей точки покоя для класса А:

$$\beta = \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}}, \quad K_i = \frac{\Delta I'_{\text{к}}}{\Delta I_{\text{б}}};$$

- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{\text{кр}} = U_{\text{кр}} I_{\text{кр}}$), в режиме насыщения $P_{\text{кн}}$, отсечки $P_{\text{ко}}$ и средние потери в ключевом режиме при относительной длительности импульса 0,5 ($P_{\text{кр.ср}} = 0,5 P_{\text{кн}} + 0,5 P_{\text{ко}}$), воспользовавшись экспериментально снятыми выходными характеристиками. Сравнить потери в классе А и в ключевом режиме. Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены;

5. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия транзистора?
2. Какие существуют схемы включения транзисторов?
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. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
10. Что такое ключевой режим?
11. Каковы преимущества ключевого режима?

Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

1. Цель работы

Изучение характеристик, параметров и режимов работы полевого транзистора с изолированным затвором и каналом п-типа.

Задание и методические указания

Предварительное домашнее задание:

- а) изучить тему курса «Полевой транзистор» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;
- б) начертить принципиальные схемы для снятия характеристик полевого транзистора в соответствии с заданным подвариантом.

2. Экспериментальное исследование характеристик полевого транзистора, включенных по схеме с общим истоком (ОИ)

- а) собрать схему для снятия характеристик полевого транзистора (рис. 1).

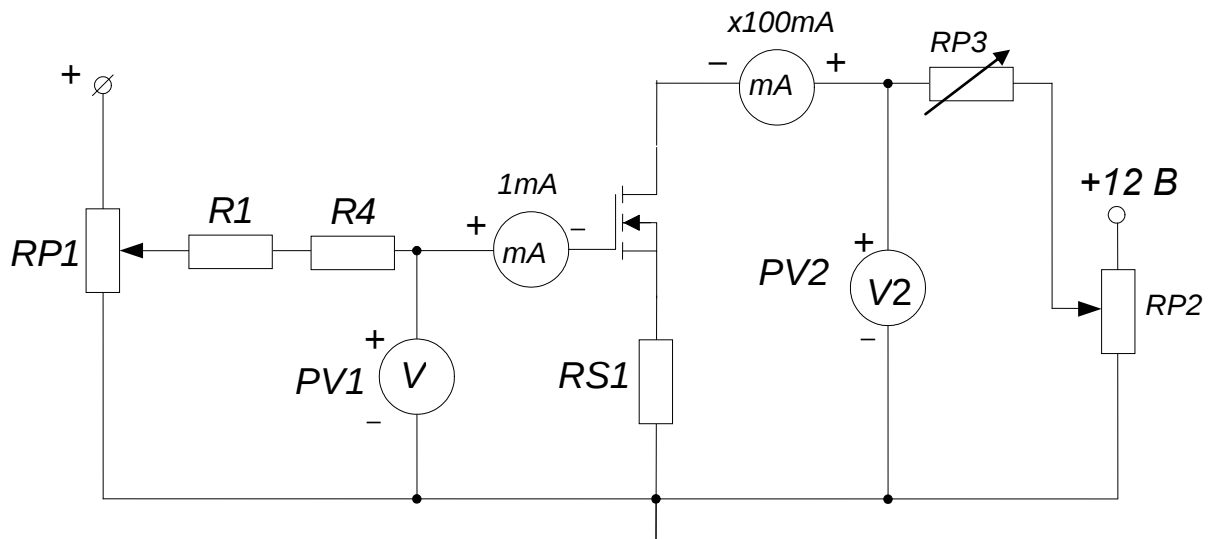


Рис. 1 – Схема для снятия характеристик полевого транзистора

- б) снять стокзатворную характеристику $I_c = f(U_3)$ при напряжении на стоке U_c равном заданному значению U_2 и $RP3 = 0$, используя схему на рис. 1. Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на график. Изменяя напряжение на затворе от нуля до максимального значения при помощи потенциометра $RP1$, снять стокзатворную характеристику при отсутствии нагрузки (закороченном $RP3$). При снятии характеристики убедитесь, что ток затвора I_3 мал. На начальном участке характеристики точки снимать чаще;

- в) снять стокзатворную характеристику при наличии нагрузки $RP3$.

Ручку потенциометра $RP1$ установить на «0». С помощью переключателя установите заданное значение резистора $RP3$, а при помощи

потенциометра $RP2$ – заданное значение U_2 . В дальнейшем ручку регулировки $RP2$ не трогать. Изменяя напряжение на затворе от нуля до максимального значения при помощи потенциометра $RP1$, снять стокзатворную характеристику при наличии нагрузки. На начальном участке характеристики и вблизи перехода в область насыщения точки снимать чаще. Выключить тумблер «Питание»;

г) по построенной в п. 2 в характеристике определить области активного усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальное напряжение на затворе $U_{з.маx}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа, используя схему на рис. 2.

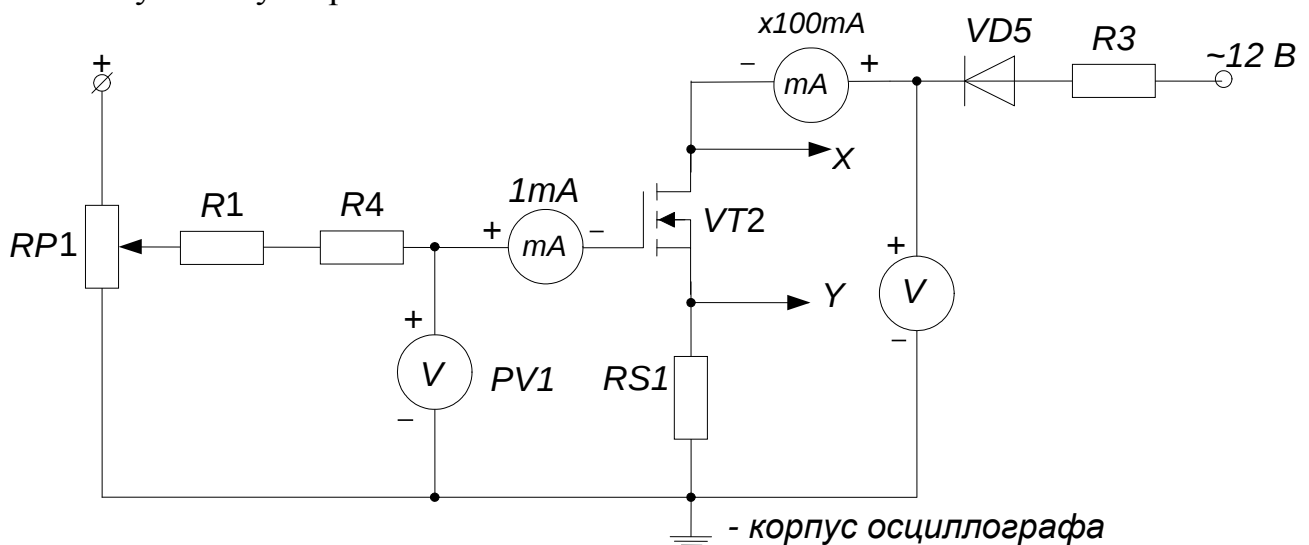


Рис. 2 – Схема для снятия выходных статических ВАХ при помощи осциллографа

Подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы. Перевести переключатель развертки осциллографа в положение X/Y . Установить точку на экране осциллографа в левом нижнем углу. Установить потенциометр $RP1$ в крайнее левое положение. Включить питание модуля. Изменяя напряжение на затворе от нуля до максимального значения, пронаблюдать семейство выходных характеристик. Зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений напряжения на затворе: $U_{з(1)} = 2\text{ В}$, $U_{з(2)} = 0,5 \cdot (U_{з(1)} + U_{з.маx})$ и $U_{з(3)} = U_{з.маx}$.

Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

4. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- наименование и цель работы;
- принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований: таблицы, экспериментально снятые и построенные характеристики, обработанные осциллограммы;

г) при оформлении отчета *определить и рассчитать*:

– крутизну стокзатворной характеристик при отсутствии нагрузки $S = \Delta I_c / \Delta U_3$ и при наличии нагрузки $S' = \Delta I_c' / \Delta U_3$. Расчет проводить на линейном участке стокзатворной характеристики ;

– дифференциальное сопротивление транзистора $r_d = \Delta U_c / \Delta I_c$ при $U_3 = \text{const}$ с использованием выходных статических ВАХ транзистора.

д) выводы:

– сделать вывод о результатах сравнения расчетных и экспериментальных значений неискаженного напряжения;

– сделать выводы о причинах расхождения экспериментальных и расчетных характеристик в пп. 1 в, г; 2 б, в, д; 3 б, в;

5. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором?

2. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к полевому транзистору с изолированным затвором и каналом n -типа, в усилительном каскаде с общим истоком?

3. Как выглядят выходные и стокзатворные статические характеристики в схеме с общим истоком?

4. Что такое статическая стокзатворная характеристика? Как ее построить? Как она видоизменяется при наличии нагрузки? Как ее снять?

5. Можно ли в лабораторной работе снять стокзатворную характеристику полевого транзистора при помощи осциллографа?

6. Как определить крутизну стокзатворной характеристики?

7. Как снять статические выходные характеристики?

Работа № 5. 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.

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.

3. Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе в классе А

а) собрать схему для исследования усилительного каскада в соответствии с рис. 1. Резистор $RP3$ установить в соответствии со своим вариантом, указанным преподавателем. Подключить канал $CH1$ осциллографа ко входу усилителя, а канал $CH2$ к выходу усилителя. Включить временную развертку осциллографа. Включить функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал частотой 50 Гц, уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды функционального генератора. Переключить входы $CH1$ осциллографа на положение «вход закорочен». Включить питание стенда. При токе $I_{\delta} = 0$ установить с помощью потенциометра $RP2$ заданное значение E_k и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра $RP2$!);

б) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{\text{вых м}}$. Для этого при токе базы, равном нулю, проверьте положение линии на экране осциллографа. При закороченном входе осциллографа она должна совпадать с нулевой линией, а при разомкнутом – отклоняться примерно на три четверти от половины экрана. Нулевую линию можно сместить вниз для увеличения масштаба, но обязательно отметить ее положение. Плавное увеличение амплитуды входного сигнала 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. Зарисуйте на кальке выходное напряжение с искажениями и предельное без искажения. При зарисовке осциллограмм не забудьте нанести положение нулевой линии. Определите масштабы по

напряжению и по времени. Дальнейшие измерения выходного сигнала необходимо производить в том же масштабе;

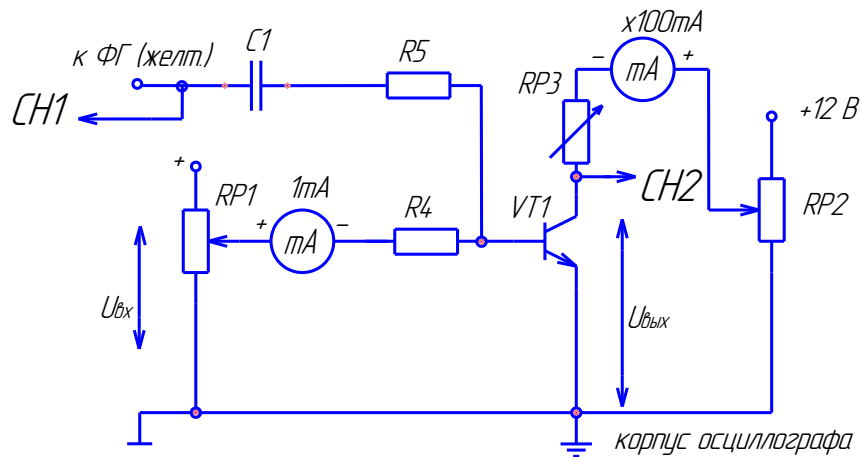


Рис. 1 – Схема исследования усилительного каскада на биполярном транзисторе

в) определить положение рабочей точки покоя. Для этого уменьшить входной синусоидальный сигнал до нуля и определить величины токов $I_{бр}$, $I_{кр}$; по осциллографу 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 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 $I_{б} = I_{бр}$, вход CH1 осциллографа, переключить на закрытый вход (АС). Изменяя переменный входной сигнал, добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью осциллографа амплитуды выходного $U_{вых}$ и входного $U_{вх}$ сигналов. Определить коэффициент усиления, учесть масштабы.

6. 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) рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{кр} = U_{кр} I_{кр}$), в режиме насыщения $P_{кн}$, отсечки $P_{ко}$ (если ток $I_{ко}$ очень мал, принять $P_{ко} = 0$) и средние потери в ключевом режиме при относительной длительности импульса 0,5 ($P_{кр.ср} = 0,5P_{кн} + 0,5P_{ко}$), воспользовавшись экспериментально снятыми осциллограммами. Сравнить потери в классе А и в ключевом режиме. Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены.

7. Контрольные вопросы

1. Как построить линию нагрузки?
2. Как выбрать рабочую точку покоя в транзисторе класса А?
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?

Работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров тиристора.

2. Задание и методические указания

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;

3. Экспериментальное исследование тиристора

а) собрать схему для исследования тиристора на постоянном токе в соответствии с рис. 1. Регулятор R_H перевести в положение «0», соответствующее минимальному значению сопротивления.

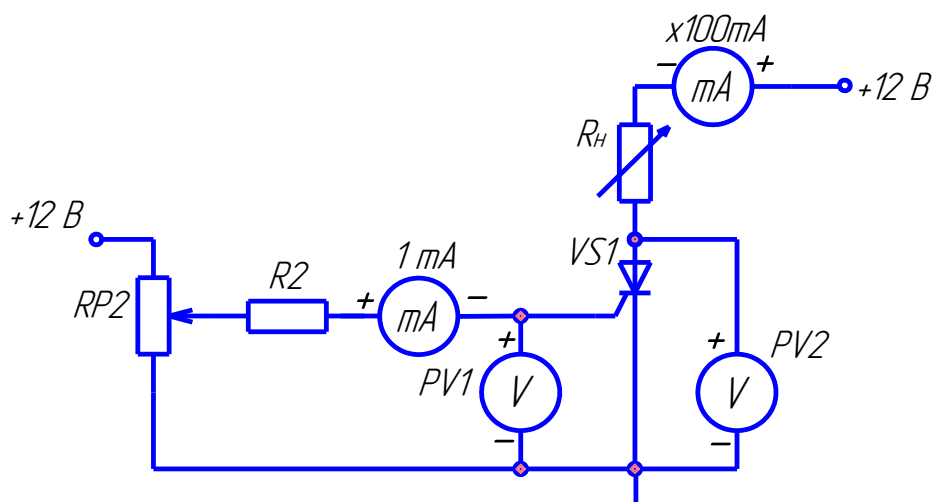


Рис. 1 – Схема исследования характеристик и параметров тиристора

б) определить отпирающий постоянный ток управления I_{yo} и отпирающее постоянное напряжение управления U_{yo} , при которых происходит включение тиристора. Для этого плавно вращать ручку потенциометра $RP1$, увеличивая ток управления I_y , зафиксировать, при каком значении тока управления I_{yo} 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) исследовать возможность выключения тиристора по цепи управления и по анодной цепи. Для этого, включив тиристор, уменьшать до нуля ток управления I_y . Выключить тиристор, разорвав цепь анода. Наблюдая за изменением анодного тока I_a и напряжения U_a , сделать вывод об управляемости тиристора, сформулировав условия включения и выключения тиристора. Выключить питание модуля;

г) снять и построить входную характеристику тиристора $U_y = f(I_y)$ (при разорванной анодной цепи), нанести на нее точку, соответствующую току I_{y0} ;

д) собрать схему для исследования тиристора на переменном токе для получения анодной ВАХ тиристора на экране осциллографа (рис. 2). Подать на вход *CH2* (Y) осциллографа напряжение с шунта *RS2*, пропорциональное току в анодной цепи i_a , а на вход *CH1* (X) – анодное напряжение тиристора u_a (при этом переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение X/Y). Корпус осциллографа ($\perp$) присоединить к общему проводу ($\perp$). Зарисовать ВАХ тиристора при двух значениях тока управления I_y , определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание;

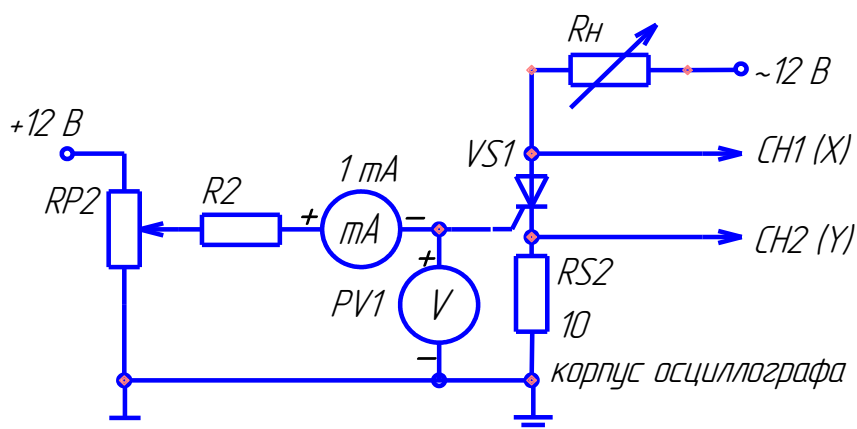


Рис. 2 – Схема исследования тиристора на переменном токе для получения анодной ВАХ тиристора на экране осциллографа

е) определить по осциллограммам максимальное напряжение между анодом и катодом U_{FM} в открытом состоянии при максимальном анодном токе $I_{a,max}$, ток удержания I_{y0} , пороговое напряжение $U_{T(TO)}$ и дифференциальное сопротивление r_T .

5. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- экспериментально снятые и построенные характеристики;
- обработанные осциллограммы;
- выводы по работе.

6. 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 тиристорov и транзисторов по управляемости.
6. Объясните назначение диаграммы управления тиристора.

Работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ

1. Цель работы

Изучение схем включения операционного усилителя с обратными связями в качестве инвертирующего усилителя.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса "Характеристики и параметры усилителей", "Обратные связи в усилителях", "Аналоговые интегральные схемы", "Схемы включения операционного усилителя"; изучить 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 инвертирующего усилителя нарисовать в масштабе временные диаграммы $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$ при заданных преподавателем значениях входного синусоидального напряжения и резисторов. Коэффициент усиления инвертирующего усилителя по напряжению

$$K_u = -\frac{RP3}{R9};$$

3. Экспериментальное исследование инвертирующего усилителя

а) собрать схему согласно рис. 1; установить заданное преподавателем значение $RP3$;

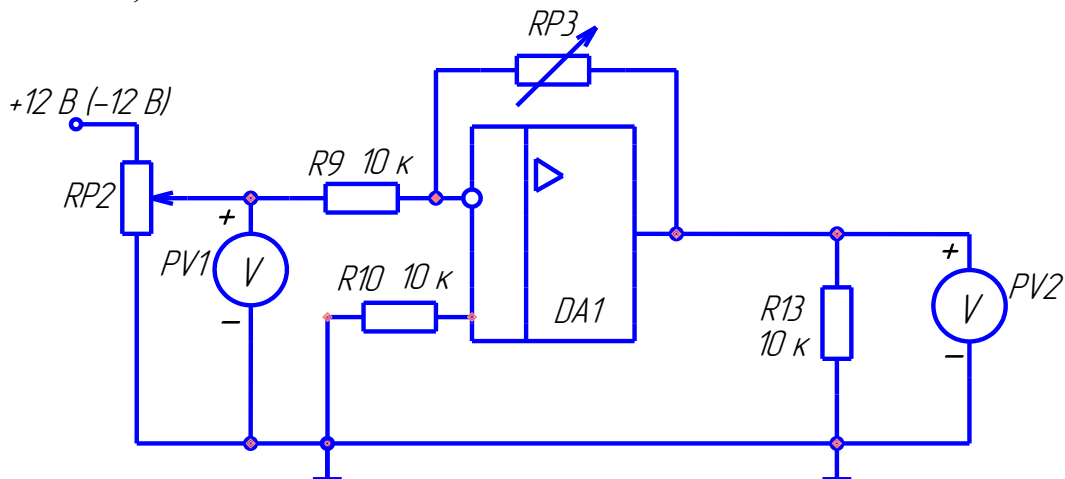


Рис. 1 – Схема исследования инвертирующего усилителя

б) Включить питание. Снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{вых} = F(U_{вх})$. В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром $RP2$. Сначала снять половину характеристики, используя источник +12В, затем, подключив источник -12В,

снять вторую часть характеристики, т.е. $U_{\text{вх}}$ должно изменяться от +12 до -12В.

По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению $K_{\text{иос}}$; выключить питание;

в) снять амплитудные характеристики усилителя при помощи осциллографа для двух значений сопротивления обратной связи (RP3). Для опыта необходимо подключить к модулю функциональный генератор (рис. 2). Для снятия зависимости одной величины от другой надо использовать два входа осциллографа **X** и **Y**. Вход **Y** (один вывод) подключается к выходу усилителя, вход **X** – к входу усилителя, а корпус ($\perp$) к общему проводу ($\perp$). Развертка луча переключается в положение **X/Y**. Установить на выходе функционального генератора напряжение частотой порядка 100...200 Гц; определить по характеристикам коэффициенты усиления;

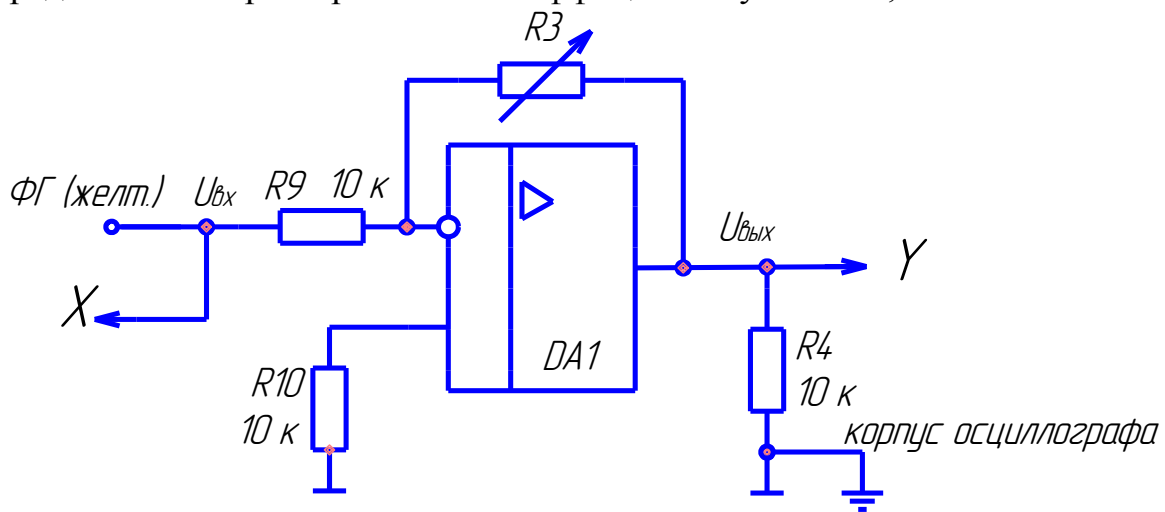


Рис. 2 – Схема для снятия амплитудных характеристик усилителя при помощи осциллографа

д) снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя $K_u = F(f)$ при $u_{\text{вх}} = \text{const}$ для заданного преподавателем значения $R_{\text{ос}}$ (R3). Переключатель развертки осциллографа установить на временную развертку. Выходной сигнал усилителя должен находиться на линейном участке амплитудной характеристики. Амплитуды сигналов $u_{\text{вх}}$, $u_{\text{вых}}$ измерять осциллографом.

По АЧХ определить полосу пропускания усилителя для коэффициента частотных искажений на высоких частотах $M_B = \sqrt{2}$;

е) по результатам опыта построить характеристики усилителя, определить его параметры, обработать осциллограммы, сравнить расчет и опыт.

5. 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) выводы по работе: сделать выводы о влиянии сопротивления обратной связи на коэффициенты усиления инвертирующего и неинвертирующего усилителя и их амплитудные характеристики.

6. Контрольные вопросы

1. Что называется операционным усилителем?
2. Каковы основные параметры операционного усилителя?
3. Почему операционный усилитель, включенный без обратной связи, работает как релейный элемент?
4. Какие допущения принимаются для операционного усилителя при выводе коэффициента усиления с различными обратными связями?
5. Для чего применяется отрицательная обратная связь в усилителях?
6. Какой знак будет иметь выходное напряжение инвертирующего усилителя, если на вход подано отрицательное напряжение?
7. Что такое амплитудная и амплитудно-частотная характеристики усилителя?
8. Как определить полосу пропускания усилителя?
9. Как снять амплитудную характеристику инвертирующего усилителя или компаратора при помощи осциллографа?

Работа № 8. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАРАТОРОВ

1. Цель работы

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

2. Задание и методические указания

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 в масштабе временные диаграммы входного и выходного напряжений в регенеративном компараторе, если на инвертирующий вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой 3,0 В и заданным преподавателем значением частоты $f_{вх}$, а на неинвертирующий – постоянное опорное напряжение $U_{оп}$.

Определить ширину петли гистерезиса $U_2 = 2U_{пор}$, где $U_{пор}$ – напряжение порога срабатывания.

$$U_{пор} = \frac{U_{вых} R_{11} (или R_{12})}{R_{10} + R_{11} (или R_{12})}, \text{ где } U_{вых} = \pm E = \pm 12 \text{ В.}$$

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

а) собрать схему двухвходового компаратора с положительной обратной связью согласно рис. 1. В качестве резистора обратной связи применить переключаемый резистор RP3 (10...200 кОм). В качестве опорного напряжения $U_{оп}$ использовать регулируемое постоянное напряжение. На инвертирующий вход подключить функциональный генератор, используя его в режиме синусоидального сигнала "~";

б) снять характеристики передачи компаратора без обратной связи и для двух значений сопротивлений обратной связи при заданном опорном напряжении. Измерение опорного напряжения можно производить вольтметром PV1. Выходное напряжение необходимо подключить на вход Y осциллографа, входное напряжение – на вход X. Изменяя величину переменного сигнала на инвертирующем входе, добиться появления на выходе прямоугольных импульсов. После переключения развертки осциллографа в положение X/Y зарисовать характеристики. Определить масштабы по осям Y и X;

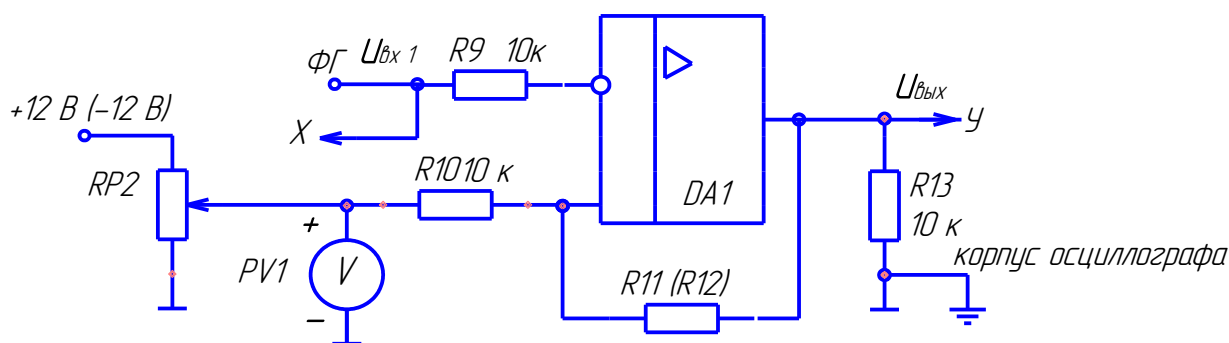


Рис.1 – Схема для снятия характеристик двухвходового компаратора с положительной обратной связью

в) снять осциллограммы работы компаратора при сравнении постоянного (опорного) и переменного напряжений. Установить амплитуду переменного напряжения 3,0 В с частотой 1 кГц. Установить заданное опорное напряжение. Зарисовать с экрана осциллографа входные напряжения $u_{вх1}$, $U_{оп}$ и выходное напряжение $u_{вых}$.

4. 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) обработанные осциллограммы.
- е) выводы по работе: сделать выводы о влиянии сопротивления в цепи обратной связи регенеративного компаратора на его передаточную характеристику.

5. 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?

Работа № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРА

1. Цель работы

Изучение схем включения и характеристик симметричного мультивибратора, выполненного на базе операционного усилителя (ОУ).

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса "Мультивибраторы", содержание данной работы и 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) в соответствии с заданными преподавателем параметрами определить частоту на выходе мультивибратора:

$$f = 1/T, \quad (1)$$

$$T = 2 \cdot RP_3 \cdot C_5 \cdot \ln \left(1 + 2 \cdot \frac{R_{10}}{R_{11}} \right). \quad (2)$$

Нарисовать в масштабе временные диаграммы напряжений на выходе $u_{вых}$, на инвертирующем входе u_c и неинвертирующем входе u_{oc} схемы рис. 1.

3. Исследование симметричного мультивибратора

а) собрать схему мультивибратора (рис. 1), установить заданные преподавателем значения емкости конденсатора (C_5 или C_6) и сопротивления резистора RP_3 ;

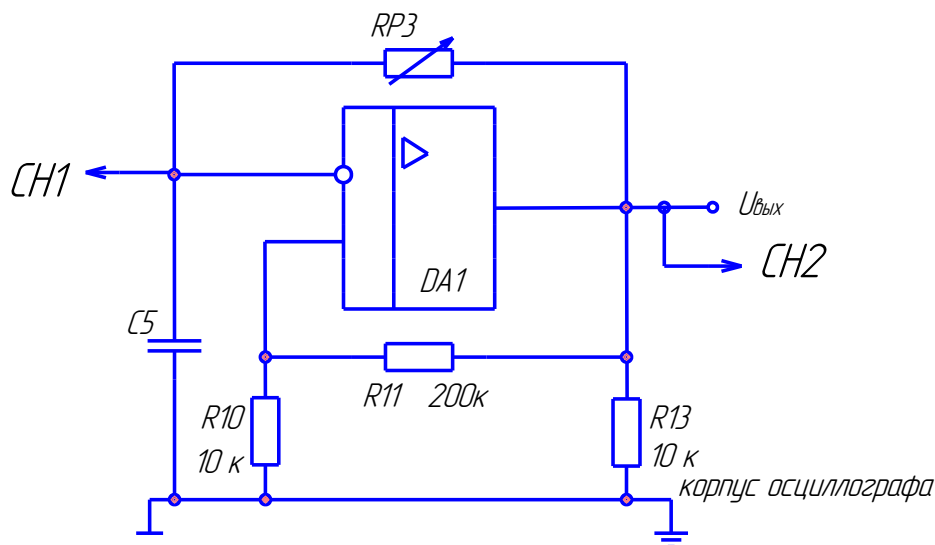


Рис. 1 – Исследование схемы симметричного мультивибратора с помощью осциллографа

б) снять осциллограммы напряжений в схеме мультивибратора. Зарисовать с экрана осциллографа выходное напряжение $u_{вых}$ и напряжение на инвертирующем входе u_c . Обработать осциллограммы. Определить частоту на выходе мультивибратора. Определить масштабы. Сравнить значение частоты, полученное экспериментально, с расчетным значением;

в) исследовать влияние сопротивлений $RP3$ и $R11(R12)$ и конденсатора $C5(C6)$ на изменение частоты на выходе мультивибратора. Для этого определить выходную частоту мультивибратора при другом значении резистора $RP3$. Установить первоначальное значение сопротивления $RP3$. Аналогичные действия повторить для конденсатора $C5$. Изменяя $RP3$, исследовать влияние обратной связи.

4. 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) обработанные осциллограммы;
 - е) выводы по работе:
- о влиянии сопротивлений резисторов и емкости конденсатора на выходную частоту мультивибратора;
 - о влиянии сопротивлений на соотношение времени положительного и отрицательного импульсов на выходе мультивибратора.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое мультивибратор?
2. Принцип работы симметричного мультивибратора.
3. Принцип работы несимметричного мультивибратора.
4. Как можно изменить частоту на выходе мультивибратора?
5. Как можно изменить соотношение времени положительного и отрицательного импульсов на выходе мультивибратора?

Работа № 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и функций простейших логических элементов.

2. Задание и методические указания

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.

3. Экспериментальное исследование комбинационных цифровых устройств

а) составить таблицу истинности логического элемента «И-НЕ». Для этого собрать схему (рис. 1), подключив выходы гнезд «Уровень логический» к соответствующим входам логического элемента «И-НЕ». Включить тумблер «Питание». Задавая различные комбинации входных логических сигналов (X_1 , X_2) тумблерами SA_1 и SA_2 , фиксировать по светодиоду выходной сигнал Y логического элемента. Составить таблицу истинности исследуемого элемента. Результаты занести в табл. 1. Выключить тумблер «Питание»;

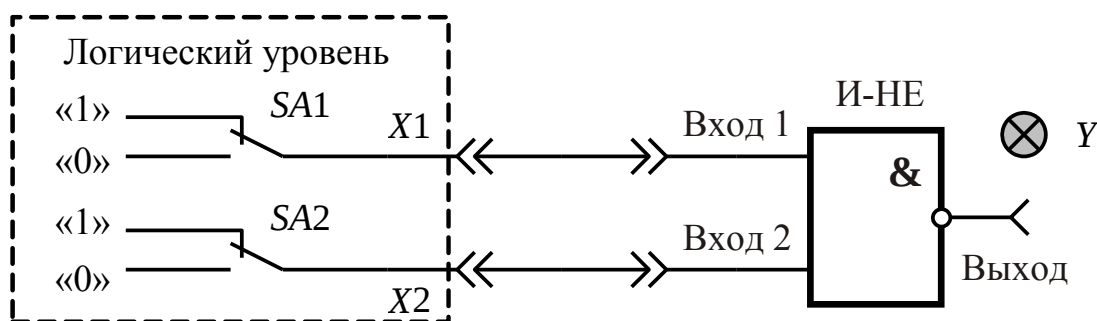


Рис. 1 – Схема соединений для исследования логического элемента И-НЕ

Таблица 1 – Результаты таблицы истинности исследуемого элемента

X1	X2	Y			
		И	НЕ	И-НЕ	ИЛИ-НЕ

б) проверить работу логического элемента «И-НЕ», подключив выходные гнезда «Генератора импульсов» с частотой 0,1 кГц и 0,2 кГц к

«Входу 1» и «Входу 2» логического элемента соответственно (см. рис. 3). Включить тумблер «Питание». Зарисовать временные диаграммы сигналов на входах и выходе логического элемента. Для этого осциллограф перевести в режим внешней синхронизации «EXT», соединив вход осциллографа «TRIG IN» с гнездом «Генератора импульсов» 0,1 кГц. Затем вход осциллографа CH1 подключить к «Входу 1» элемента «И-НЕ», а вход осциллографа CH2 – к «Входу 2» элемента (корпус осциллографа « $\perp$ » соединить с общей точкой модуля). Зарисовать входные сигналы друг под другом. Переключить вход осциллографа CH2 к «Выходу» элемента «И-НЕ», и зарисовать выходной сигнал. Выключить тумблер «Питание»;

в) аналогично выполнить п. а и б для логических элементов «И», «ИЛИ-НЕ», «НЕ».

4. 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.

5. Контрольные вопросы

1. Какие виды логики вы знаете?
2. Какие логические элементы исследуются в данной работ и к какому виду логики они относятся?
3. Перечислите основные параметры логических элементов.
4. Составьте таблицы истинности для логических элементов «И-НЕ», «И», «ИЛИ-НЕ», «ИЛИ», «НЕ», «Исключающее ИЛИ».
5. Как составить таблицу истинности логического элемента в лабораторной работе?
6. Как снять временные диаграммы входных и выходного сигналов логического элемента при помощи осциллографа в лабораторной работе?

Работа № 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРОВ

1. Цель работы

Изучение работы триггеров

2. Задание и методические указания

1. *Предварительное домашнее задание:*

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

б) начертить схему JK -триггера, и построить его временные диаграммы сигналов для заданной последовательности импульсов $J = X1$, $K = X2$, $C = X3$ (рис. 1). Показать временные диаграммы J , K , C , Q , $\bar{Q}$ синхронно друг под другом;

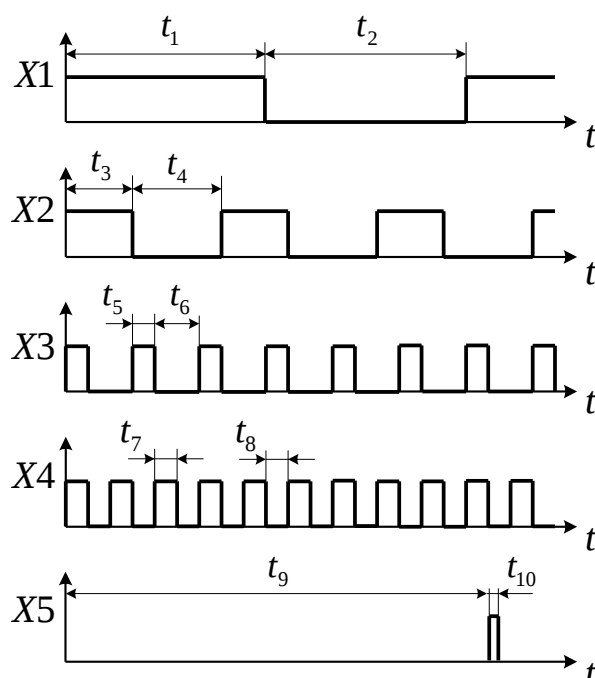


Рис. 1 – Временные диаграммы сигналов

3. Исследование RS -триггера с инверсным управлением

а) собрать схему согласно рис. 2;

б) 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. 1;

Таблица 1– Таблица переключений триггера

$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q_{t-1}	Q_t	$\bar{Q}_t$
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.

в) составить таблицу переключений RS-триггера.

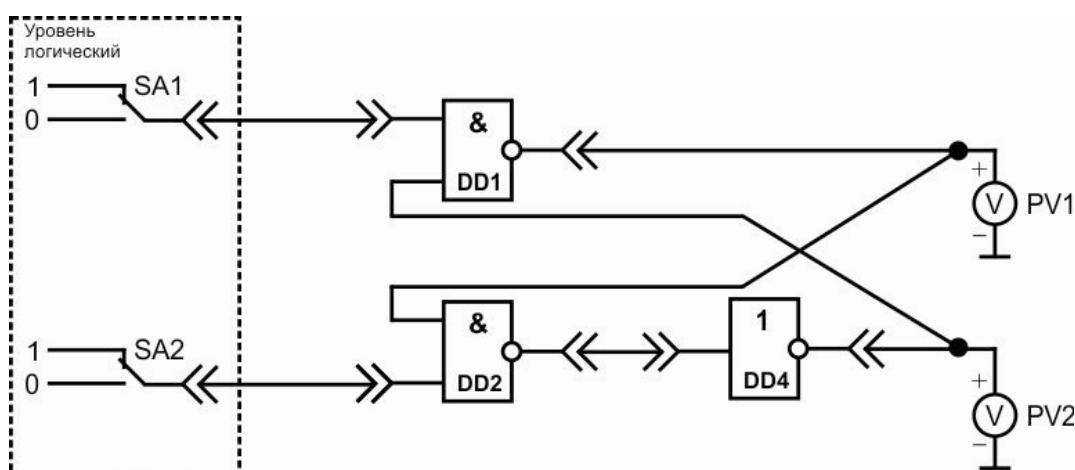


Рис. 2 – Схема соединений для исследования RS-триггера с инверсным управлением

4. Исследование JK-триггера

а) собрать схему JK-триггера в соответствии с рис. 3. Для этого J и K входы подключить к выходным гнездам «Логический уровень», а синхронизирующий вход C – к гнезду (⌂) генератора «Импульс одиночный». Включить тумблер «Питание»;

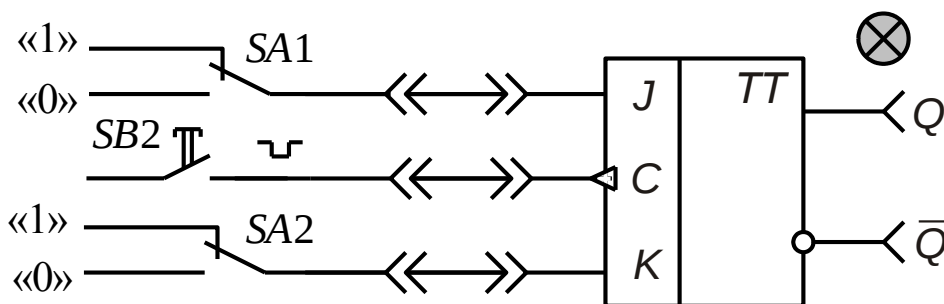


Рис. 3 – Схема соединений для исследования JK-триггера

б) задавая тумблерами $SA1$ и $SA2$ различные комбинации входных логических сигналов при одновременном нажатии на кнопку $SB2$ (синхронизирующий импульс), составить таблицу истинности JK -триггера. Уровню логической «1» на выходе триггера Q соответствует свечение светодиода. Состояние инверсного выхода $\bar{Q}$ определять при помощи осциллографа. Результаты занести в табл. 1. Обратите внимание, на каком фронте синхроимпульса «С» происходит переключение JK -триггера. Выключить тумблер «Питание»;

Таблица 1 – Таблица истинности JK -триггера

J	K	C	Q	$\bar{Q}$
1	0			
0	1			
1	0			
1	1			

в) проверить работу JK -триггера в счетном режиме. Для этого на входы J и K подать сигналы логической «1» с выходных гнезд «Логический уровень», а на вход C – прямоугольные импульсы с частотой 1,6 кГц с выхода «Генератора импульсов». Нарисовать три осциллограммы на одном рисунке: $C(t)$, $Q(t)$, $\bar{Q}(t)$. Сначала вход осциллографа $CH1$ подключить к синхронизирующему входу C триггера, а вход осциллографа $CH2$ – к выходу Q (корпус осциллографа « $\perp$ » соединить с общей точкой модуля), затем переключить вход осциллографа $CH2$ к инверсному выходу $\bar{Q}$ триггера, зарисовать на кальке осциллограммы сигналов синхронно друг под другом. Убедиться, что сигналы Q и $\bar{Q}$ противоположны по знаку. Выключить тумблер «Питание».

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов в соответствии с мнемосхемой, показанной на рис. 1;
- в) результаты экспериментальных исследований, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Что называется триггером?
2. Чем отличаются последовательностные схемы от комбинационных?
3. Что означает термин «запрещенная комбинация» для RS -триггера?
4. При каких комбинациях входных сигналов изменяется состояние RS -триггера?
5. В каком положении устанавливается выход Q и $\overline{Q}$ JK -триггера после ухода синхронизирующего импульса для различных сочетаний сигналов J и K ?
6. Чем отличаются таблицы истинности RS и JK -триггера?

Пронина Анна Константиновна

**СУДОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
И СИЛОВАЯ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

*Методические указания
к лабораторным работам*

Часть 1

В авторской редакции

Изд. № 128/2023. Объем 2,5 п.л. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,45.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»