

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

к лабораторным работам

по дисциплине «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

для студентов направления

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (Профиль)

Интеллектуальные программируемые системы и устройства

**Ставрополь
2026**

Оглавление:

1.1	Общее описание стенда	4
1.2	Цель лабораторных занятий	5
1.3	Подготовка к лабораторному занятию	5
1.4	Проведение эксперимента	6
1.5	Обработка результатов и оформление отчета	7
	Работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ	9
	Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА	12
	Работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ	15
	Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА И ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА	18
	Работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОТРАНЗИСТОРА	23
	Работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ	25

1.1. Общее описание стенда

Методические указания предназначены для проведения лабораторно-практических занятий по курсу основы электроники.

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

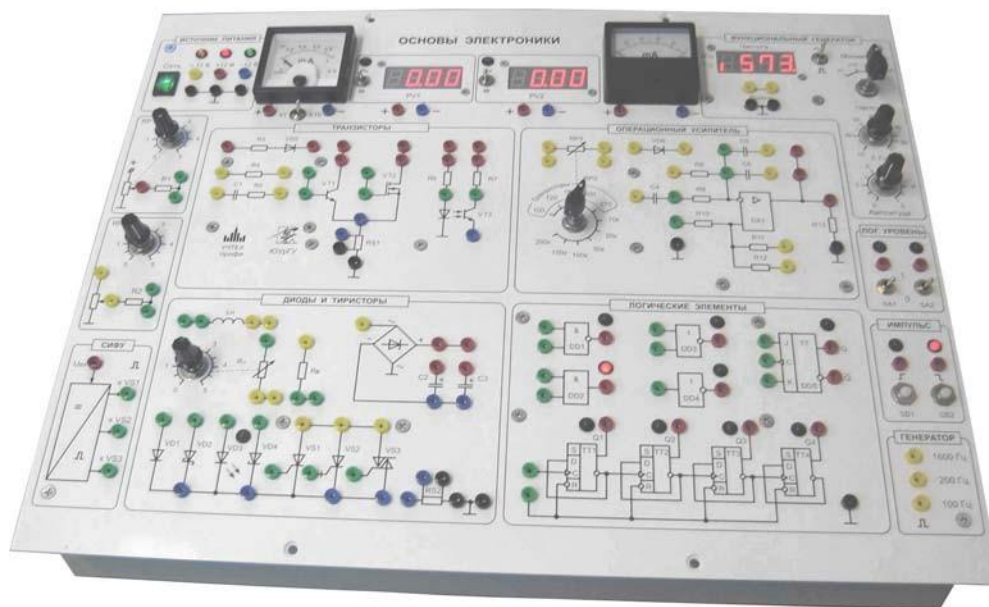


Рис. 1

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.

1.2. Цель лабораторных занятий

Важнейшей частью курса «Основы электроники» 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.

1.3. 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.

1.4. 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 приступать только после проверки и визирования протокола преподавателем.

1.5. 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.

Отчет в целом должен быть составлен таким образом, чтобы для понимания содержания и результатов проведенной работы не требовалось дополнительных устных пояснений. Составление подобных отчетов – первый шаг к оформлению технических отчетов по экспериментальным исследованиям, которые предстоит проводить будущему инженеру.

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_n .

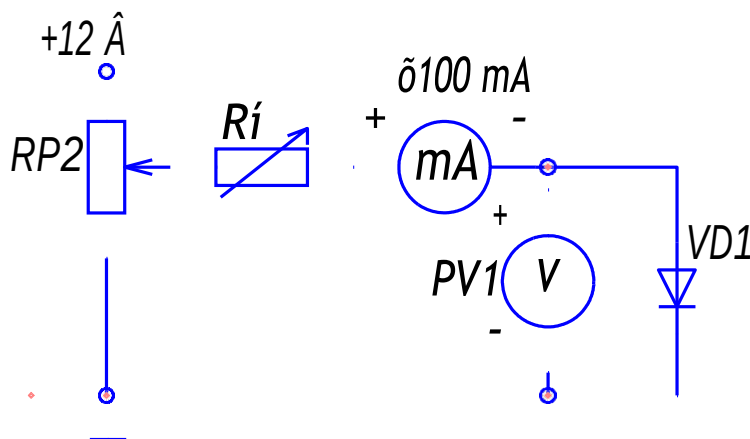


Рис. 1

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;

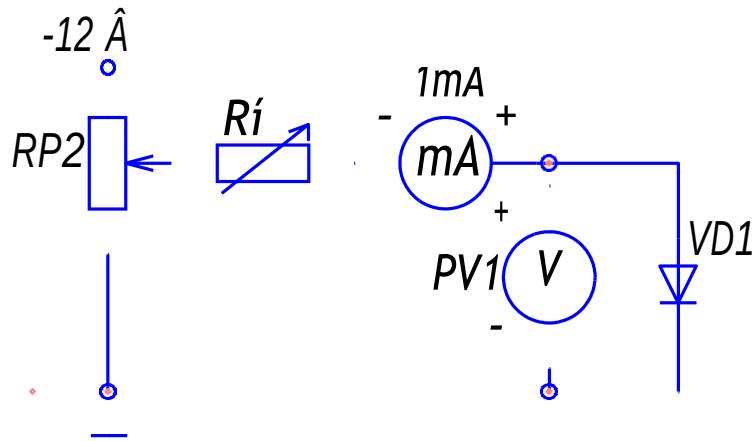


Рис. 2

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 ;

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 () соединить с общим проводом (). 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;

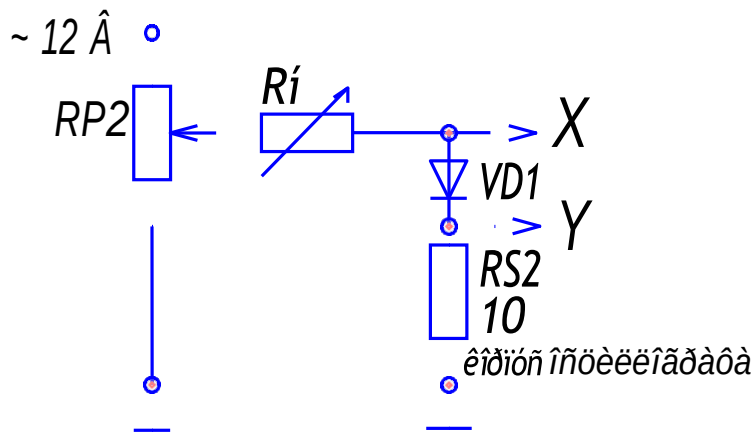


Рис. 3

д) определить по осциллограмме 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 ,

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 R_6 . 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 $R_6 = 1\text{кОм}$; 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?
2. Объясните вид ВАХ p - n перехода?
3. Как влияет температура на различные участки ВАХ диода?
4. Как снять по точкам ВАХ диода?
5. Почему на схемах рис. 1 и 2 по-разному включены измерительные приборы?
6. Как снять ВАХ диода с помощью осциллографа?
7. Какие погрешности можно ожидать при осциллографировании по схеме рис. 3?
8. Поясните вид ВАХ стабилитрона.
9. Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?
10. Как зависит напряжение стабилизации от температуры?
11. В чем отличие ВАХ выпрямительного диода, диода Шоттки и светодиода?
12. От чего зависит яркость свечения светодиода?
13. Какой элемент обязателен в схеме индикатора на светодиоде?
14. Каким образом на экране осциллографа получают изображение функциональной зависимости двух напряжений?
15. Каким образом на экране осциллографа получается изображение периодической функции времени?

Работа № 2. 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);

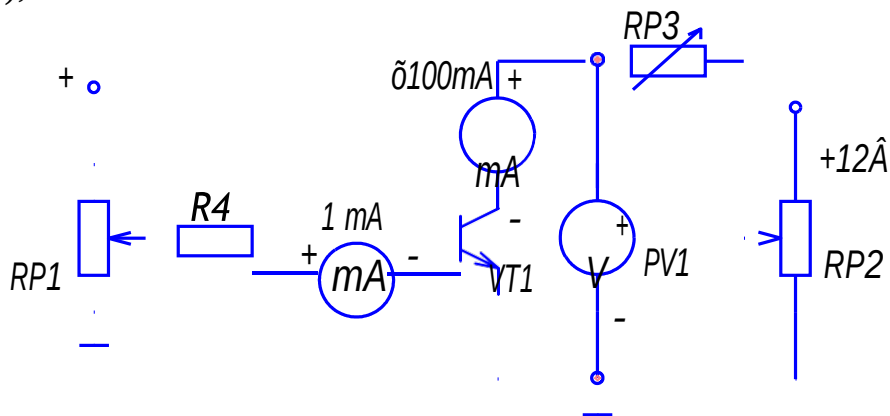


Рис. 1

б) снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_k = f(I_b)$ 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.2в характеристике определить области активного

усиления, отсечки и насыщения. Определить максимальный ток $I_{b \max}$, 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 $R_{ш}$, а корпус осциллографа () соединить с общим проводом (⊥). 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: $I_{б1} = 0$; $I_{б2} = 0,5 I_{б \max}$; $I_{б3} = I_{б \max}$. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

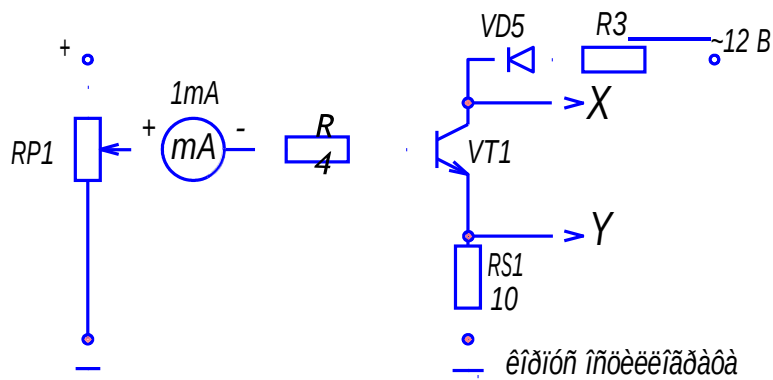


Рис. 2

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- схемы соединений для выполненных экспериментов;
- 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:

$$\beta = \frac{\Delta I_{\kappa}}{\Delta I_{\sigma}}, \quad K_i = \frac{\Delta I'_{\kappa}}{\Delta I_{\sigma}};$$

- экспериментально снятые и построенные характеристики;
- обработанные осциллограммы;

е) рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{кр} = U_{кр} I_{кр}$), в режиме насыщения $P_{кн}$, отсечки $P_{ко}$ и средние потери в ключевом режиме при относительной длительности импульса 0,5 ($P_{кр.ср} = 0,5P_{кн} + 0,5P_{ко}$), 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

- Каков принцип действия транзистора?
- 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 № 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.

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 $I_0 = 0$ 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;

а) исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Установите $I_0 = 0$ и увеличить сигнал от функционального генератора ФГ до перехода транзистора в ключевой режим; зарисуйте и обработайте осциллограмму выходного

напряжения;

б) повторите опыт при подаче на вход прямоугольного сигнала.

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 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?

Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА И ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

1. Цель работы

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

2. Задание и методические указания

Предварительное домашнее задание:

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

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

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

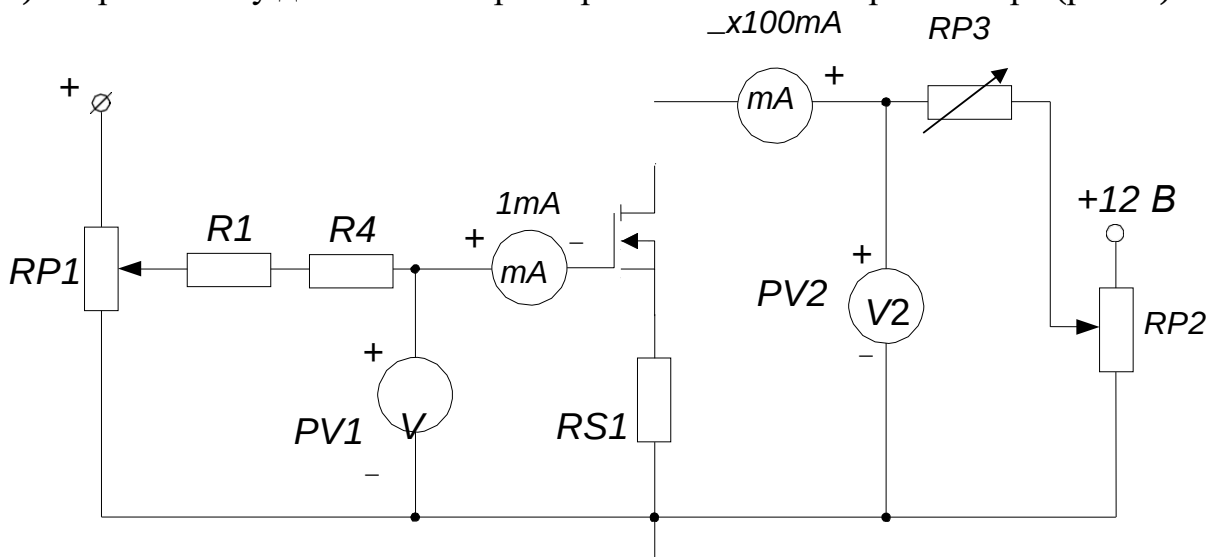


Рис. 1. Схема для снятия характеристик полевого транзистора

- 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

На начальном участке характеристики точки снимать чаще;

в)
снять

стократворную характеристику при наличии нагрузки $RP3$.

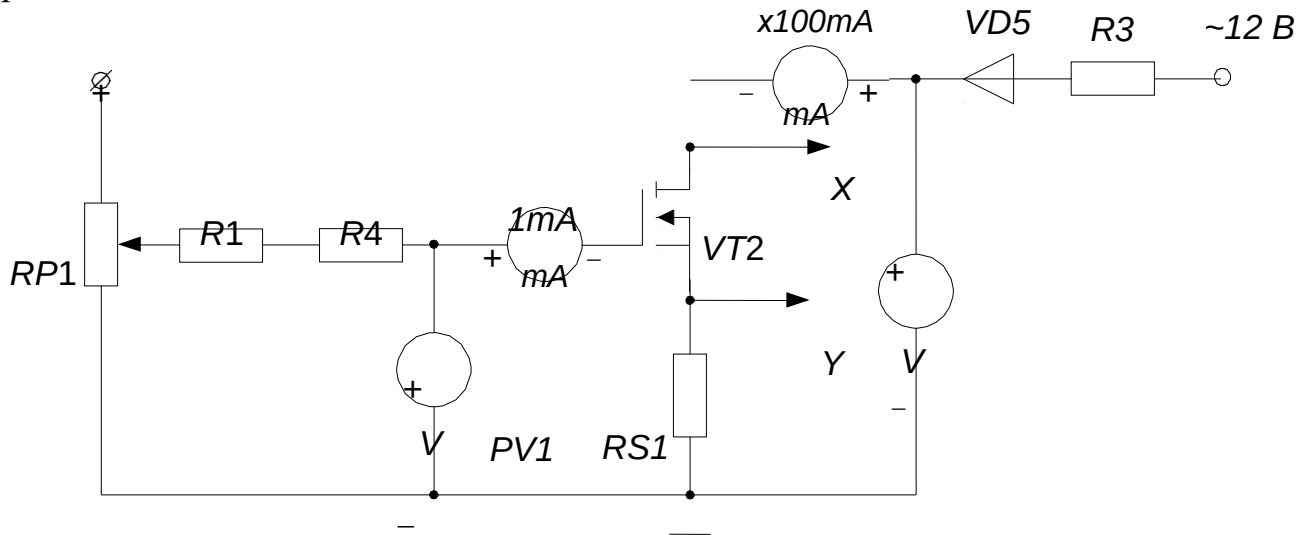
мал.

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 $U_{з, \max}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

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



— - корпус осциллографа

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, наблюдать семейство выходных характеристик. Зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений напряжения на затворе: $U_{з(1)} = 2 \text{ В}$, $U_{з(2)} = 0,5 \cdot (U_{з(1)} + U_{з, \max})$ и $U_{з(3)} = U_{з, \max}$.

Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

4. Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком (ОИ)

а) собрать схему для исследования усилительного каскада (рис. 3).

Переключить осциллограф в режим временной развертки. Включить функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал с частотой f в соответствии с таблицей вариантов; уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды. Переключить вход $CH1$ осциллографа в положение вход закорочен

«*GND*». Включить питание стенда. При напряжении $U_3 = 0$ установить с помощью потенциометра *RP2* (см. рис. 1) заданное значение « $=U_2$ » и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра *RP2*);

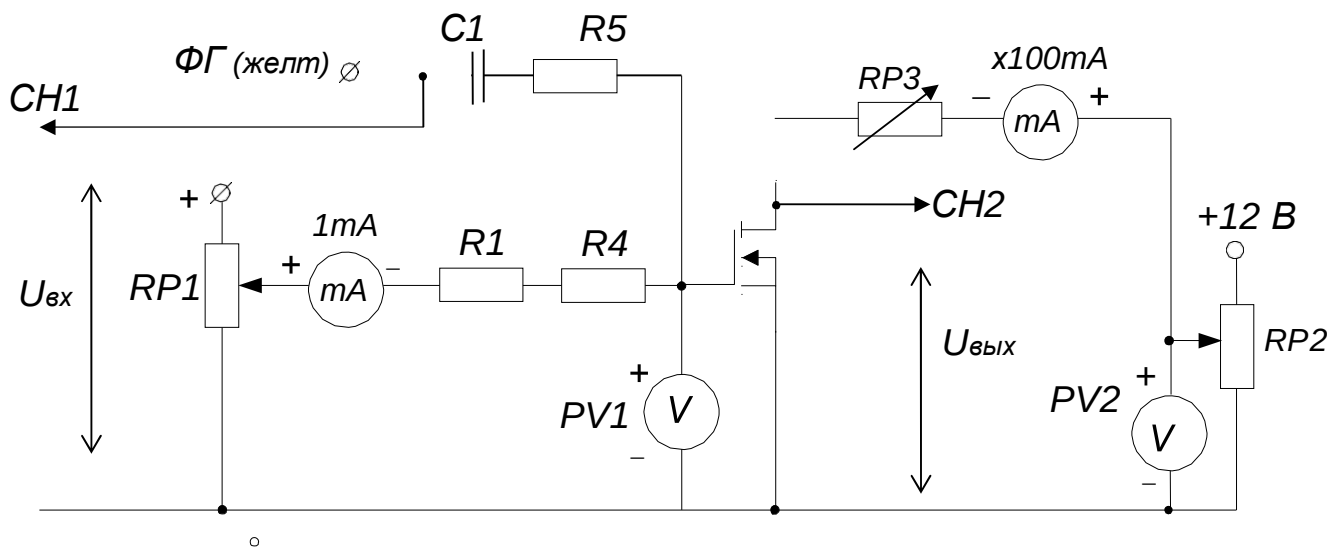


Рис. 3.

б) по снятой ранее стокзатворной характеристике при наличии нагрузки определить рабочую точку покоя для режима усиления класса А (напряжение на затворе $U_{зр}$ и ток стока $I_{ср}$), по выходным характеристикам определить $U_{ср}$;

в) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{вых,м}$ и уточнить положение рабочей точки покоя. Для этого установите постоянное напряжение на затворе $U_{зр}$ и определите значения тока $I_{ср}$ и напряжения $U_{ср}$ (с помощью осциллографа). Плавно

увеличивайте переменный входной сигнал ручкой регулятора амплитуды модуля «Функциональный генератор» 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. По осциллографу определите максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{вых,м}$.

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. Определите значения $U_{зр}$, $I_{ср}$, $U_{ср}$ при $u_{вх} = 0$ и сравните с определенными в п. 3 б);

г) исследовать экспериментально влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного напряжения. Для этого установите вновь рабочую точку покоя для класса А: $U_{зр}$, $I_{ср}$, $U_{ср}$ и максимальную амплитуду синусоидального неискаженного

выходного напряжения $U_{вых,м}$. Зарисовать кривые выходного напряжения при

изменении постоянной составляющей напряжения на затворе $U'_3 = 0,5 \cdot (U_{3(1)} + U_{3p})$

и $U'_3 = 0,6 \cdot (U_{3(1)} + U_{3p})$, при этом переменный входной сигнал не изменять;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению k_u в классе А. Для этого установить $U_3 = U_{3p}$, раскоротить вход *CH1* осциллографа, переключив его на открытый вход «АС». Изменяя переменный входной сигнал,

добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью осциллографа амплитуду выходного $U_{\text{вых.т}}$ и входного $U_{\text{вх.т}}$ сигналов,

учесть масштабы осциллографа по обоим каналам. Определить коэффициент усиления по напряжению $k_u = U_{\text{вых.т}} / U_{\text{вх.т}}$;

е) определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе В. Для этого с помощью потенциометра $RP1$ установить $U_3 = 2 \text{ В}$ и, регулируя амплитуду

входного сигнала, добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоидального выходного напряжения, зарисовать и обработать осциллограмму. Если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром $RP1$ постоянное напряжение U_3 и, изменяя переменный входной сигнал, добейтесь

воспроизведения усилителем ровно половины неискаженного синусоидального напряжения с максимальной амплитудой. Уменьшите входной сигнал до нуля и запишите напряжение U_3 , которое пришлось установить в рабочей точке покоя,

чтобы не было искажений. Эта рабочая точка покоя соответствует классу АВ;

ж) исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Установите $U_3 = 2 \text{ В}$ и увеличьте входное синусоидальное напряжение регулятором амплитуды

«Функционального генератора» до перехода транзистора в ключевой режим. Зарисуйте и обработайте осциллограмму выходного напряжения;

з) определите ток стока и напряжение стока на постоянном токе в двух точках: отсечки и насыщения. Для этого установите амплитуду входного синусоидального сигнала равным нулю, переключите положительный вывод вольтметра $PV2$, к стоку транзистора. При помощи потенциометра $RP1$ установите напряжение на затворе $U_3 = 2 \text{ В}$, замерьте ток I_{co} и напряжение на стоке U_{co} , соответствующие точке

отсечки транзистора. Для измерения тока стока и напряжения на стоке, соответствующие точке насыщения, установите потенциометр $RP1$ в крайне правое положение, по приборам определите ток $I_{\text{сн}}$ и напряжение $U_{\text{сн}}$. Выключить питание модуля.

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- наименование и цель работы;
- принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- результаты экспериментальных исследований: таблицы, экспериментально снятые и построенные характеристики, обработанные осциллограммы;
- 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 ; $r_d = \Delta U_c / \Delta I_c$
 - дифференциальное сопротивление транзистора | при $U_g = \text{const}$ с

использованием выходных статических ВАХ транзистора.

д) Рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{cp} = U_{cp} \cdot I_{cp}$), в режиме насыщения ($P_{сн} = U_{сн} \cdot I_{сн}$) и отсечки ($P_{co} = U_{co} \cdot I_{co}$) для класса D, а также средние потери в ключевом режиме при относительной

длительности импульса 0,5 ($P_{с.ср} = (P_{сн} + P_{со}) |^2$), воспользовавшись экспериментальными данными;

е) 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;
- охарактеризовать влияние выбора рабочей точки покоя на форму выходного напряжения (п. 3 г);
- сравнить потери в классе А и в ключевом режиме. Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены.

6. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором?
2. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к полемому 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?
8. Как построить линию нагрузки?
9. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?
10. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим истоком.
11. Каково назначение элементов усилителя?
12. Как определить коэффициент усиления каскада по напряжению (графически и экспериментально)?
13. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
14. Что такое ключевой режим?
15. Каковы преимущества ключевого режима?
16. Как определить ток стока и напряжение на стоке транзистора в точках отсечки и насыщения на постоянном токе?

Работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОТРАНЗИСТОРА.

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров оптоэлектронных приборов на примере оптотранзистора. Изучение вопросов применения оптоэлектронных приборов.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

- а) изучить тему курса «Оптоэлектронные приборы» 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 транзисторного оптрона

а) собрать схему для снятия передаточной характеристики транзисторного оптрона на постоянном токе (рис.1). Включить стенд;

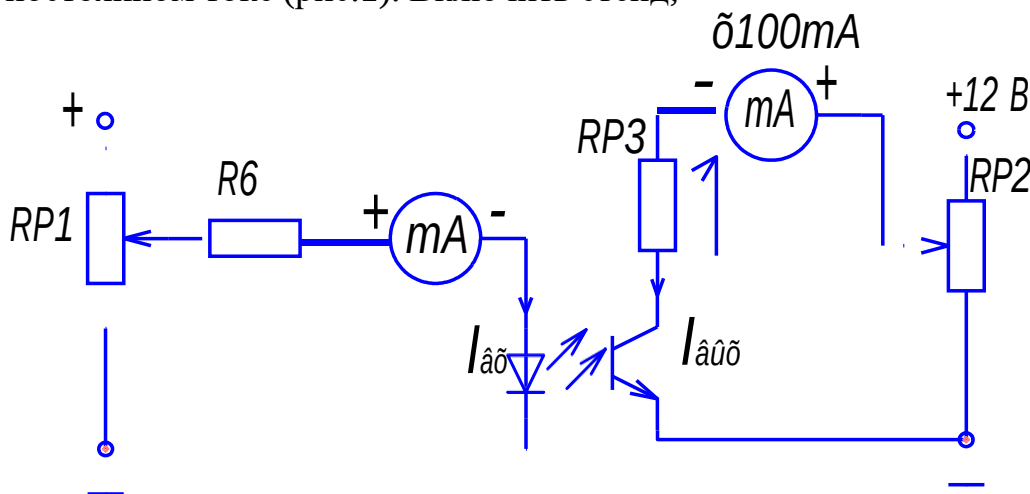


Рис. 1

б) снять по точкам передаточную характеристику транзисторного оптрона на постоянном токе. Для этого потенциометром RP1 изменять напряжение на входе, фиксируя входной $I_{вх}$ и выходной $I_{вых}$ токи. Определить максимальный входной ток $I_{вх.макс}$, при котором сохраняется линейность характеристики. Определить коэффициент передачи по току k_i . Выключить тумблер «Питание»;

в) собрать схему и снять с помощью осциллографа выходные ВАХ транзисторного оптрона (рис.2). Подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы. Перевести переключатель развертки осциллографа в положение X/Y. Установить луч на экране осциллографа в левом нижнем углу. Установить потенциометр RP1 в крайнее левое положение. Включить питание модуля. Изменять входной ток от нуля до максимального значения, пронаблюдать семейство выходных характеристик; зарисовать на одном рисунке выходные характеристики для трех значений входного тока: $I_{вх} = 0$, $I_{вх} = 0,5I_{вх.макс}$ и $I_{вх} = I_{вх.макс}$. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить тумблер «Питание».

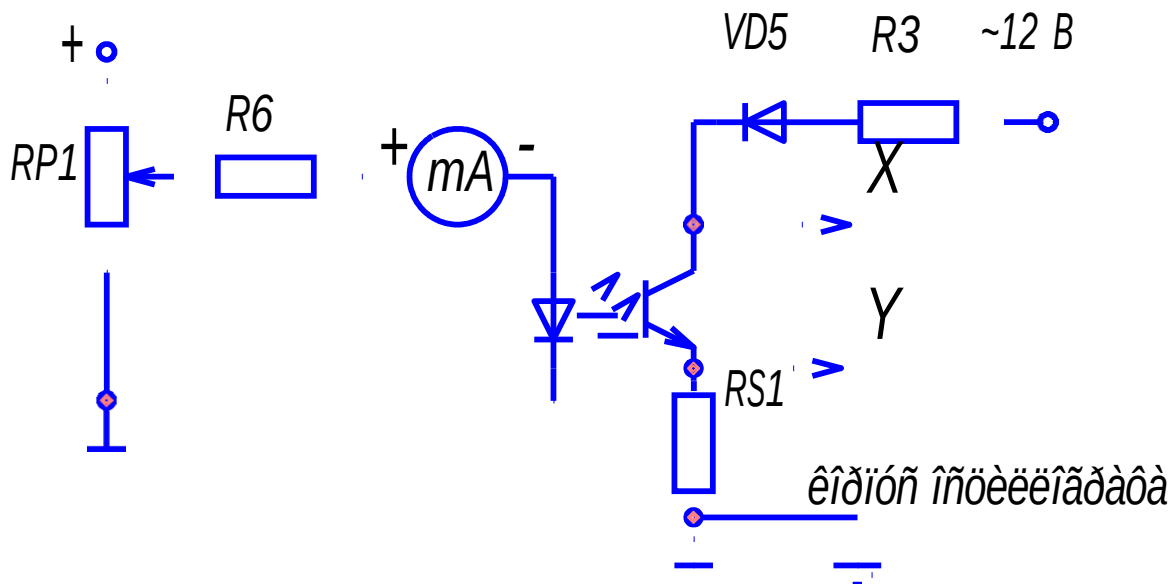


Рис. 2.

4. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- наименование и цель работы;
- принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов (заданного подварианта) в соответствии с мнемосхемой;
- результаты экспериментальных исследований: таблицы, экспериментально снятые и построенные характеристики, обработанные осциллограммы;
- при оформлении отчета рассчитать:
 - коэффициенты передачи транзисторного оптрона по току;
- сделать выводы по работе:
 - в чем отличие выходных характеристик транзистора и транзисторного оптрона.

5. Контрольные вопросы

- Каков принцип действия транзисторного оптрона?
- Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к транзисторному оптрону?
- Как выглядят входные, выходные и передаточные характеристики транзисторного оптрона?
- Как определить коэффициент передачи по току?
- Как снять статические выходные характеристики?
- Каково назначение резистора, включаемого на входе оптопары?
- Как определить быстродействие оптрона?
- Каковы области применения различных оптронов?
- В чем общее преимущество оптронов перед другими управляемыми полупроводниковыми приборами?

Работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ

1. Цель работы

Изучение характеристик и параметров тиристора и симистора.

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_n перевести в положение «0», соответствующее минимальному значению сопротивления.

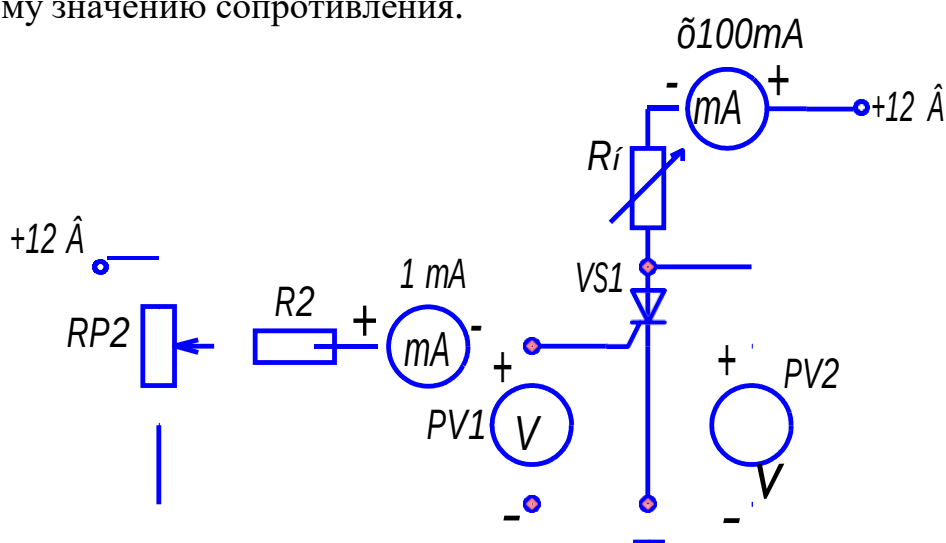


Рис. 1

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_{yo} ;

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;

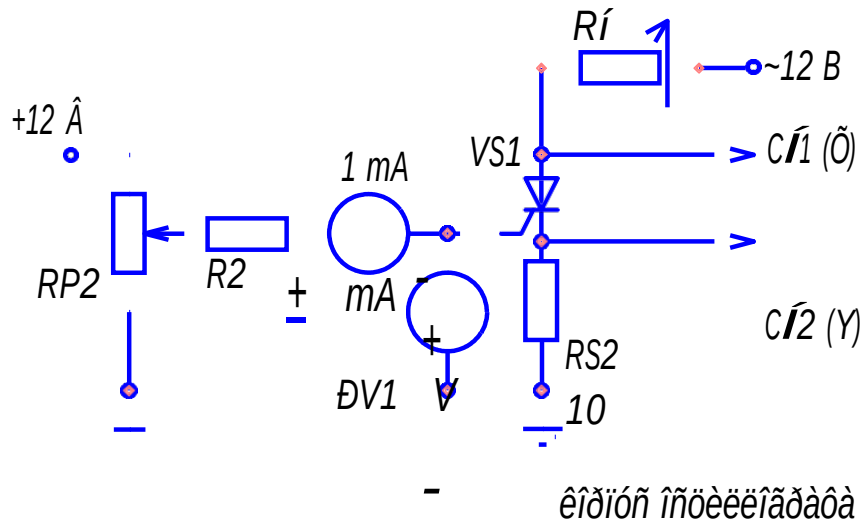


Рис. 2

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_{yd} , пороговое напряжение $U_{T(TO)}$ и дифференциальное сопротивление r_T .

4. Экспериментальное исследование однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

- собрать схему преобразователя рис. 3. Включить питание модуля;
- изучить влияние угла управления (регулированием RP2) на напряжение на нагрузке (u_n) и определить возможный диапазон изменения угла управления;
- снять осциллограммы переменного напряжения u , подаваемого на симистор, напряжения на нагрузке u_n , на симисторе u_a и анодного тока i_a при активной нагрузке и заданном угле управления.

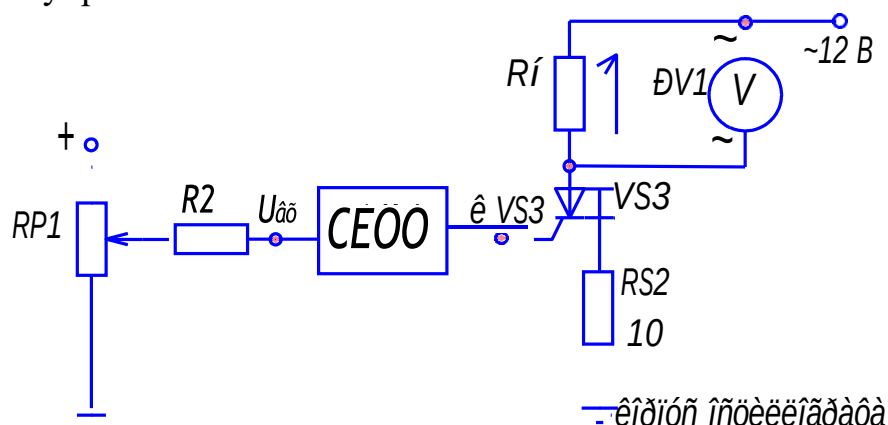


Рис. 3. Схема для исследования однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

г) используя схему, приведенную на рис.2, снять анодную ВАХ симистора при подачи импульсов от СИФУ, при этом используется выход VS3, подключаемый к

управляющему электроду симистора. Для этого подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы: вход канала $CH1$ (X) – к аноду симистора, канал $CH2$ (Y) – к катоду симистора (напряжение на симисторе), снимая тем самым ток

через симистор, а корпус осциллографа ($\perp$) присоединить к гнезду Х37. Перевести переключатель развертки осциллографа в положение X/Y. Зарисовать ВАХ симистора при угле управления, взятом из таблицы вариантов. Определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание модуля.

5. 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.

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.
7. В чем отличие симистора и тиристора.
8. Отличие ВАХ тиристора и симистора.

Работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО И НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

1. Цель работы

Изучение схем включения операционного усилителя с обратными связями в качестве инвертирующего и неинвертирующего 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

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

г) для неинвертирующего усилителя нарисовать в масштабе временные диаграммы $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$ при заданных преподавателем значениях входного синусоидального напряжения и резисторов. Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по напряжению

$$K_u = 1 + \frac{RP3}{R9}$$

3. Экспериментальное исследование инвертирующего усилителя

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

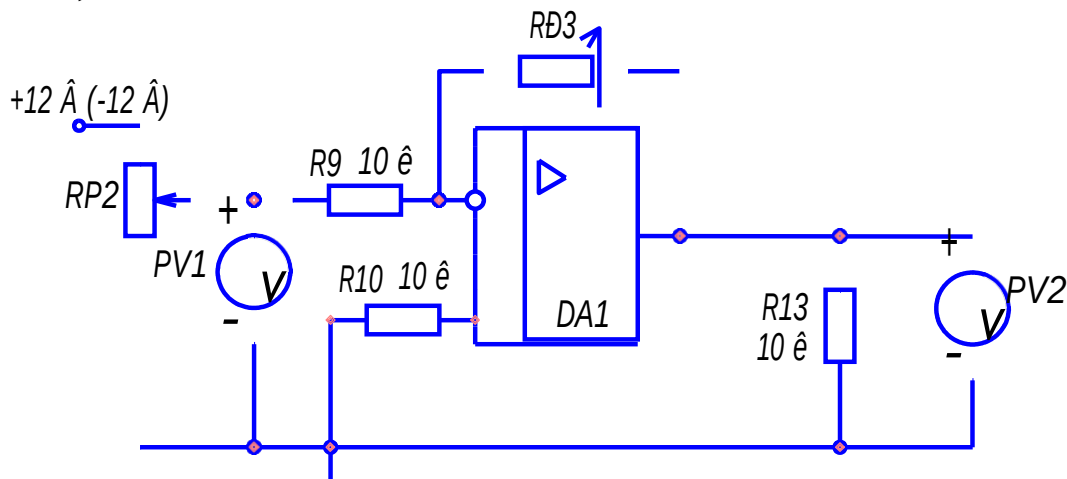


Рис. 1

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. $U_{вх}$ должно изменяться от +12 до -12В.

По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению $K_{уос}$; 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 () к общему проводу (). Развертка луча переключается в положение X/Y. Установить на выходе функционального генератора напряжение частотой порядка 100...200 Гц; определить по характеристикам коэффициенты усиления;

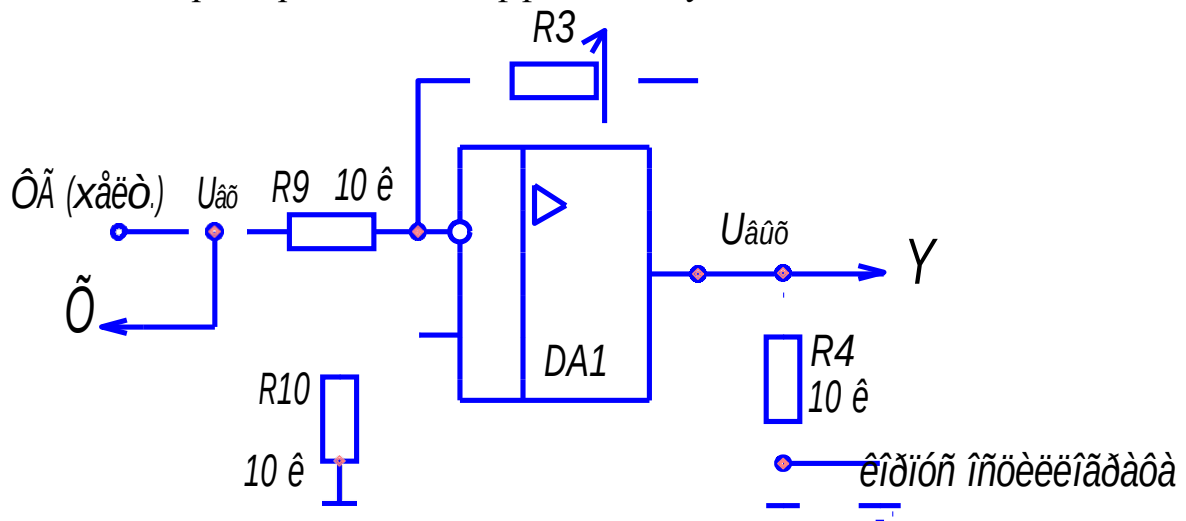


Рис. 2

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

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

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

4. Экспериментальное исследование неинвертирующего усилителя

а) собрать схему согласно рис. 3. Установить заданное преподавателем значение RP3

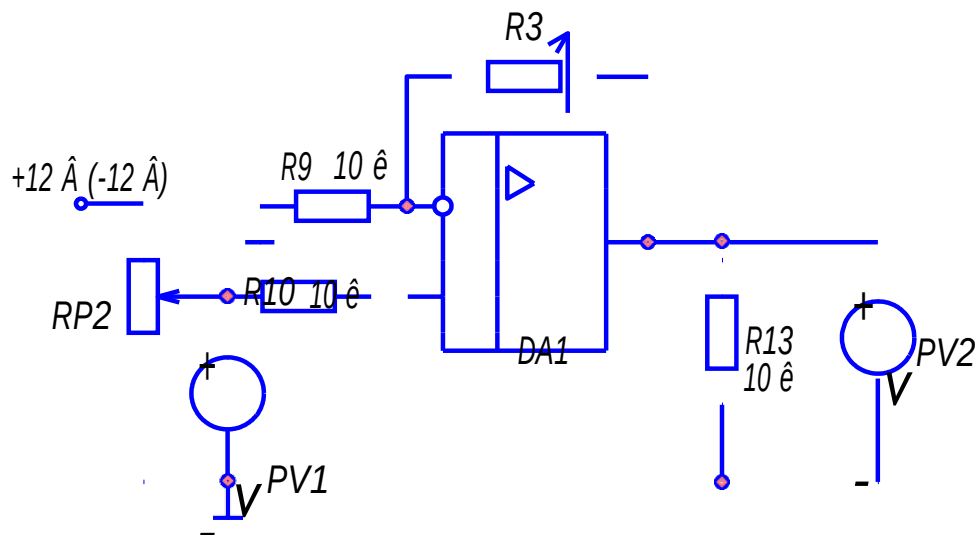


Рис. 3

б) снять амплитудную характеристику усилителя на постоянном токе $U_{вых} = F(U_{вх})$. В качестве источника сигнала использовать напряжение, регулируемое потенциометром RP2.

По амплитудной характеристике определить коэффициент усиления по напряжению K_U ; выключить питание;

в) снять амплитудные характеристики усилителя при помощи осциллографа для двух значений R_{oc} (RP3). Для опыта необходимо подключить к модулю функциональный генератор (рис. 4). 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 () к общему проводу (⊥). Развертка луча переключается в положение X/Y. Установить на выходе функционального генератора напряжение частотой порядка 100...200 Гц; определить по характеристикам коэффициенты усиления;

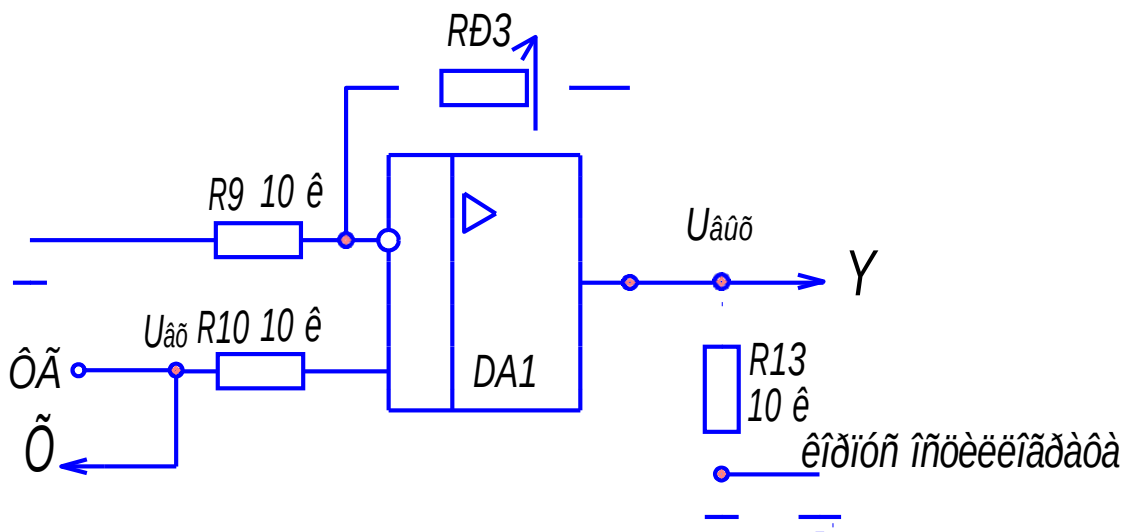


Рис. 4

г) снять амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя $K_U = F(f)$ при $u_{вх} = \text{const}$ для заданного значения R_{oc} . Переключатель развертки

осциллографа установить на временную развертку. Выходной сигнал усилителя должен находиться на линейном участке амплитудной характеристики. Амплитуды

сигналов $u_{вх}$, $u_{вых}$ измерять осциллографом.

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

д) 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 ИНТЕГРАТОРА И АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

1. Цель работы

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

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

- изучить темы курса "Схемы включения операционного усилителя", содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;
- пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве, начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;
- нарисовать в масштабе временные диаграммы $u_{\text{вх}}$ и $u_{\text{вых}}$ для заданной

преподавателем частоты f знакопеременного прямоугольного сигнала $u_{\text{вх}}$. При этом предварительно найти амплитуду U_m прямоугольного сигнала $u_{\text{вх}}$, при которой выходной сигнал $u_{\text{вых}}$ интегратора имеет пилообразную форму с амплитудой U_{nm} , равной максимальному напряжению на выходе ОУ ($U_{\text{вых.мах}} = 12 \text{ В}$).

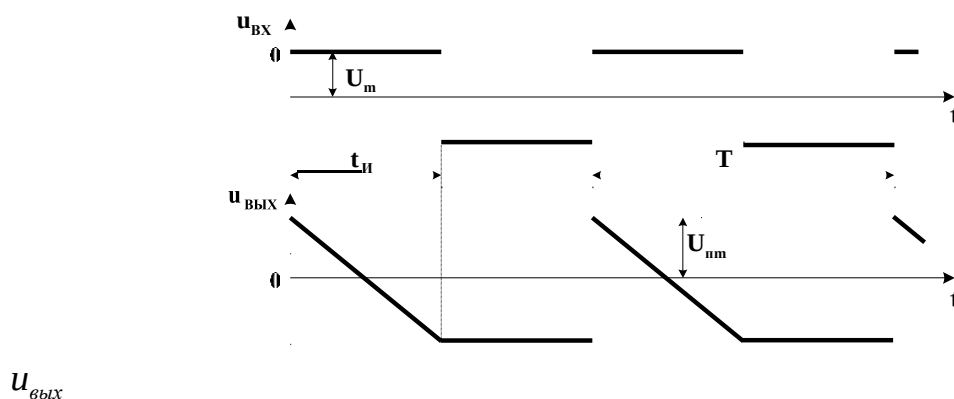
Напряжение на выходе интегратора при постоянном входном сигнале изменяется по линейному закону

$$u_{\text{вых}}(t) = -\frac{U_{\text{вх}} \cdot t}{T_u} + U_{\text{вых}}(0), \quad (1)$$

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

$U_{\text{вых}}(0)$ – напряжение на выходе интегратора в момент времени 0.

При периодическом прямоугольном входном сигнале напряжение на выходе интегратора имеет пилообразную форму с амплитудой U_{nm} (рис. 1).



В реальной схеме интегратора вследствие дрейфа нуля ОУ сигнал на выходе оказывается смещенным относительно нуля. Для получения симметричного сигнала $u_{\text{вых}}$ относительно нуля примем $U_{\text{нт}} = U_{\text{вых.мах}}$ и найдем требуемую амплитуду прямоугольного входного сигнала U_m . Для интервала времени t_u (рис. 3.7.1) подставим в уравнение (1): $u_{\text{вых}}(t) = -U_{\text{нт}} = -U_{\text{вых.мах}}$; $t = t_u = T/2$; $U_{\text{вх}} = U_m$; $U_{\text{вых}}(0) = U_{\text{нт}} = U_{\text{вых.мах}}$, тогда

$$U_m = \frac{4 \cdot U_{nm} \cdot T_u}{T}, \quad (2)$$

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

3. Исследование интегратора

а) собрать схему интегратора согласно рис. 2, установить заданное преподавателем значения емкости C ;

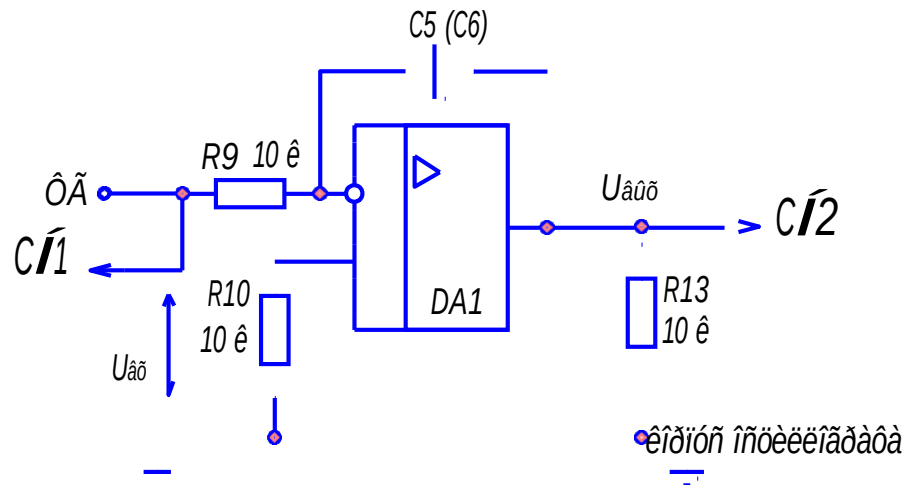


Рис. 2.

б) исследовать работу интегратора в режиме генератора пилообразного напряжения (рис. 1). Для этого на функциональном генераторе установить прямоугольное знакопеременное напряжение с заданной частотой f и амплитудой U_m , рассчитанной в п. 1 в. Напряжение на входе $u_{вх}$ и выходе $u_{вых}$ контролировать

при помощи осциллографа. При необходимости подстроить потенциометром RP1 амплитуду U_m знакопеременного прямоугольного сигнала так, чтобы пилообразный

выходной сигнал интегратора стал симметричным относительно нуля с амплитудой $U_{nm} = U_{вых.мах}$ (рис. 1). Зарисовать осциллограммы $u_{вх}(t)$ и $u_{вых}(t)$. Сравнить

полученные результаты с расчетом по значениям U_m , f , U_{nm} ;

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

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

4. Исследование активного фильтра

а) собрать схему активного фильтра согласно рис. 3. Сопротивление резистора с переключением $RP3$ и величину емкости конденсатора C установить в соответствии с указанным преподавателем ($C5$ или $C6$);

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

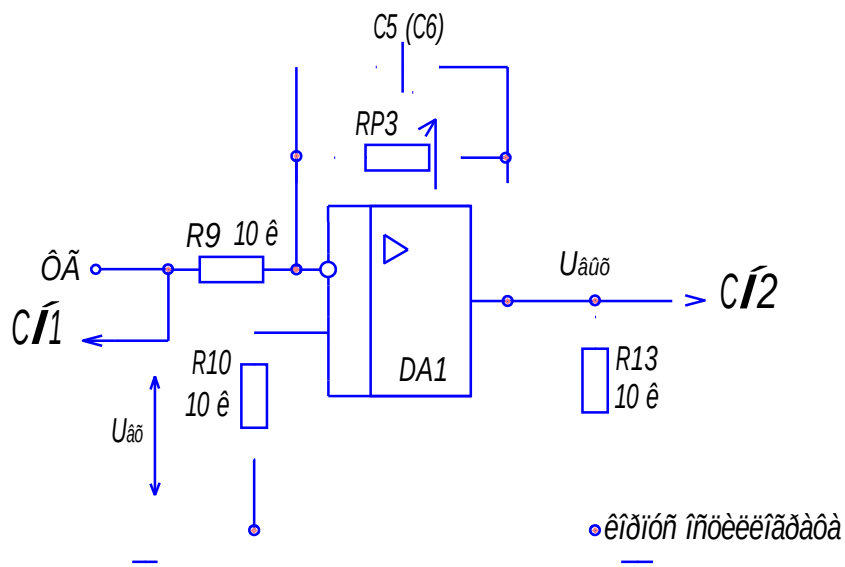


Рис. 3

- в) повторить опыт при других значениях параметров фильтра;
- г) определить полосы пропускания исследованных активных фильтров.

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) 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.

6. 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?

Работа № 9. 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 $U_{\Sigma} = 2U_{пор}$, где $U_{пор}$ – напряжение порога срабатывания.

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

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;

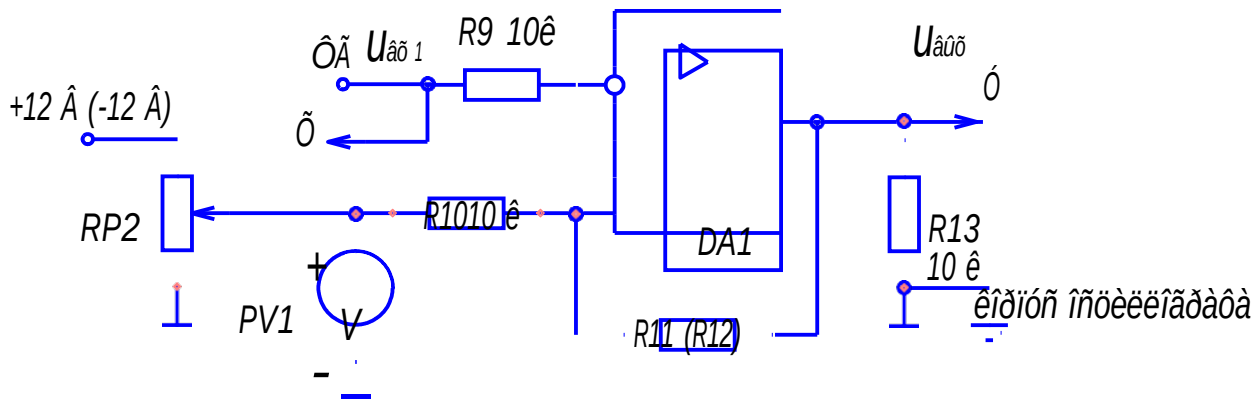


Рис. 1

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 № 10. 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} в схеме 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 ;

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;

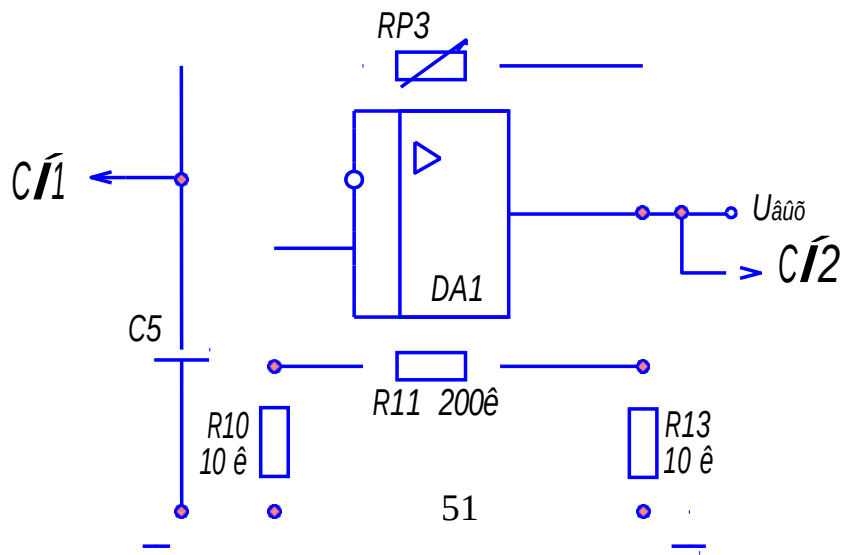


Рис. 1.

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 № 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

1. Цель работы

Изучение характеристик и функций простейших логических элементов.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

- изучить тему курса “Цифровые интегральные микросхемы”, содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;
- построить временные диаграммы работы для логического элемента 2И-НЕ при заданной последовательности импульсов.

3. Экспериментальное исследование комбинационных цифровых интегральных микросхем

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 SA1 и SA2, фиксировать по светодиоду выходной сигнал Y логического элемента. Составить таблицу истинности исследуемого элемента. Результаты занести в табл. 1. Выключить тумблер «Питание»;

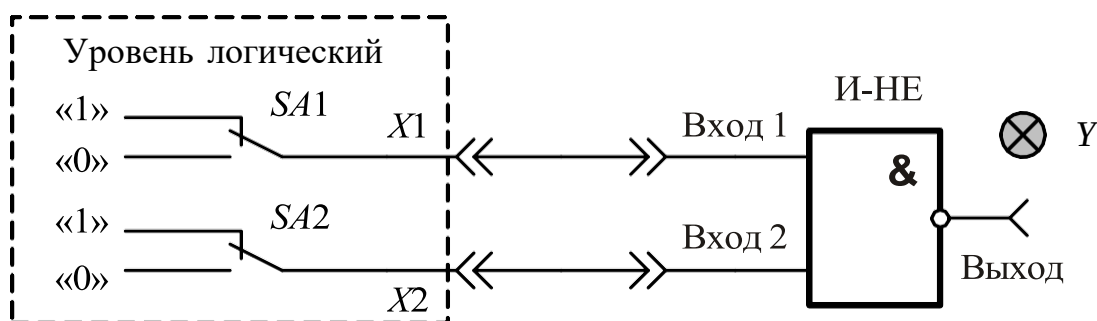


Рис. 1. Схема соединений для исследования логического элемента И-НЕ

Таблица 1

X1	X2	Y					
0	0						
1	0						
0	1						
1	1						

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 «⊥» соединить с общей точкой модуля). Зарисовать на кальке входные сигналы друг под другом. Переключить вход осциллографа CH2 к «Выходу» элемента «И-НЕ», и зарисовать на той же кальке выходной сигнал. Выключить тумблер «Питание»;

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

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. 2;

Таблица 2

$\bar{S}$	$\bar{R}$	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.

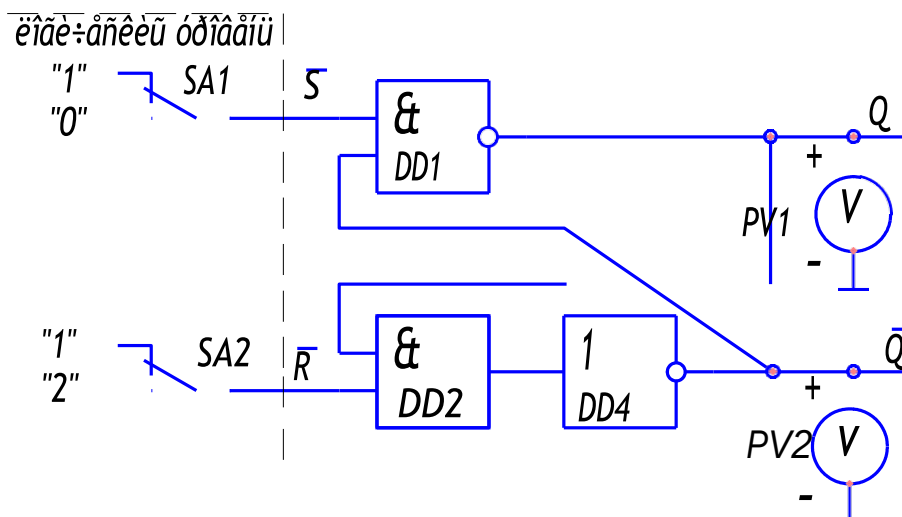


Рис. 2.

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. Назовите основные преимущества и недостатки КМОМ-логики по сравнению с ТТЛ.
3. Какие логические элементы исследуются в данной работе и к какому виду логики они относятся?
4. Перечислите основные параметры логических элементов.
5. Приведите структурную схему логического элемента «2И-НЕ» на основе ТТЛ и КМОМ-логики.
6. Составьте таблицы истинности для логических элементов «И-НЕ», «И», «ИЛИ-НЕ», «ИЛИ», «НЕ», «Исключающее ИЛИ».
7. Нарисуйте схемные обозначения трехвходовых логических элементов «И-НЕ», «И», «ИЛИ-НЕ», «ИЛИ», «НЕ», «Исключающее ИЛИ».
8. Можно ли использовать логический элемент «Исключающее ИЛИ» в качестве элемента «НЕ»? Если да, то как; если нет, то почему?
9. Как составить таблицу истинности логического элемента в лабораторной работе?
10. Как снять временные диаграммы входных и выходных сигналов логического элемента при помощи осциллографа в лабораторной работе?

Работа № 12. ИССЛЕДОВАНИЕ JK-ТРИГГЕРА И СЧЕТЧИКА

1. Цель работы

Изучение работы триггеров и двоичного асинхронного суммирующего счетчика в интегральном исполнении.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Триггеры», «Счетчики» 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 $J = X1$, $K = X2$, $C = X3$ (см. рис. 2). Показать временные диаграммы J , K , C , Q , $\bar{Q}$ синхронно друг под другом;

в) начертить схему асинхронного четырехразрядного двоичного счетчика, состоящего из D -триггеров, и построить его временные диаграммы сигналов для заданной последовательности импульсов $C = X4$, $R = X5$ (см. рис. 2). Показать временные диаграммы C , R , $Q1$, $Q2$, $Q3$, $Q4$ синхронно друг под другом.

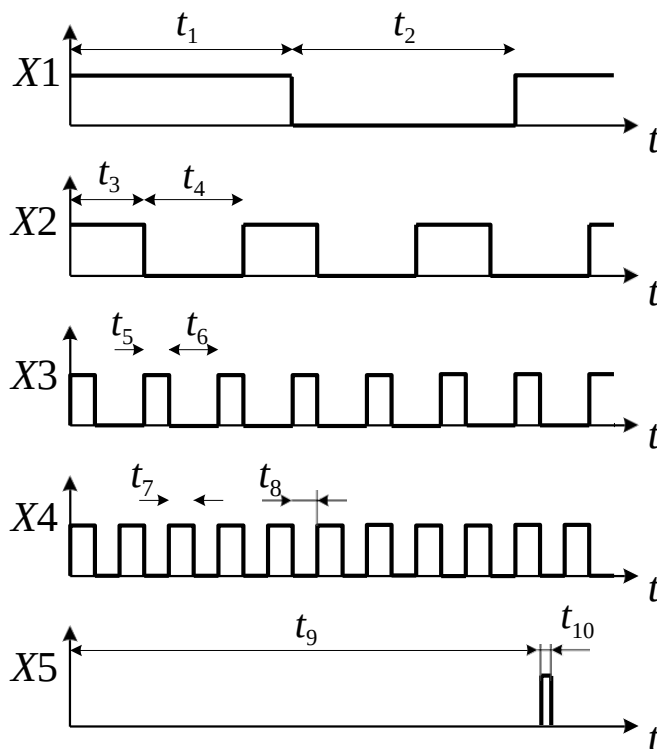


Рис.2. Временные диаграммы входных сигналов

3. 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»;

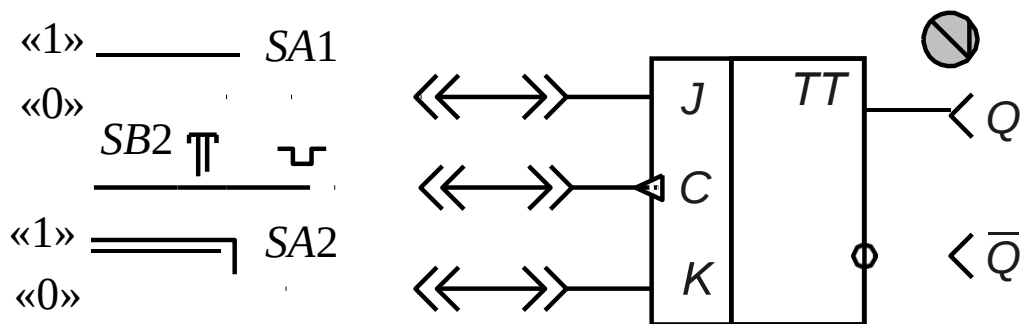


Рис. 3. Схема соединений JK -триггера

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

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

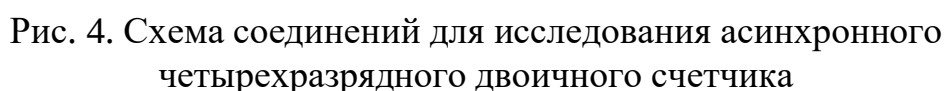
осциллографа $CH1$ подключить к синхронизирующему входу C триггера, а вход осциллографа $CH2$ – к выходу Q (корпус осциллографа « $\perp$ » соединить с общей точкой модуля), затем переключить вход осциллографа $CH2$ к инверсному выходу $\bar{Q}$ триггера, зарисовать на кальке осциллограммы сигналов синхронно друг под другом. Убедиться, что сигналы Q и $\bar{Q}$ противоположны по знаку. Выключить тумблер «Питание».

4. Исследование асинхронного четырехразрядного двоичного счетчика

а) составить таблицу состояний асинхронного четырехразрядного двоичного счетчика. Для этого собрать схему в соответствии с рис. 4, подключив выходные гнезда генератора «Импульс одиночный» к синхронизирующему C и R входам счетчика. Включив питание модуля, установить все разряды счетчика ($Q1$ – $Q4$) в исходное (нулевое) положение. Для этого нажать на кнопку $SB2$, и подать сигнал логического «0» на входы R всех триггеров. Составить таблицу состояния счетчика

(табл. 3), периодически нажимая на кнопку $SB1$, формирующей одиночные положительные импульсы () на входе C счетчика. Состояния выходных разрядов

Выключить тумблер «Питание»;



Выключить тумблер «Питание».

Таблица 3

№ импульса (вход C)	Выходы			
	Q4	Q3	Q2	Q1
Уст. «0»				
1				
2				
.....				
15				

5. Содержание отчета

а) наименование и цель работы;

в) результаты экспериментальных исследований, помещенные в

соответствующие таблицы;

г) обработанные осциллограммы;

е) выводы по работе.

6. 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 $\bar{Q}$ JK -триггера после ухода синхронизирующего импульса для различных сочетаний сигналов J и K ?
6. Чем отличаются таблицы истинности RS и JK -триггера?
7. Нарисуйте схему T -триггера, реализованную на базе JK -триггера.
8. Нарисуйте схему D -триггера, реализованную на базе JK -триггера.
9. На основе каких элементов строятся счетчики?
10. Нарисовать схему двоичного суммирующего четырехразрядного счетчика на базе JK -триггеров?
11. Чем отличаются асинхронные счетчики от синхронных? Перечислить основные преимущества синхронных счетчиков по сравнению с асинхронными.
12. Что нужно изменить в мнемосхеме суммирующего счетчика (рис. 1), чтобы получить вычитающий асинхронный счетчик?
13. Сколько разрядов должен иметь двоичный счетчик, чтобы обеспечить возможность счета 64 импульсов?

Работа № 13. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы

Ознакомление с применением выпрямительных диодов в неуправляемых выпрямителях.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Диоды», «Неуправляемые 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 .

3. Экспериментальное исследование однополупериодного выпрямителя на диоде

а) собрать схему выпрямителя по рис. 1. В качестве вольтметров использовать: PV1 в режиме измерения переменного напряжения, PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа Вы увидите осциллограммы анодного тока и напряжения на диоде;

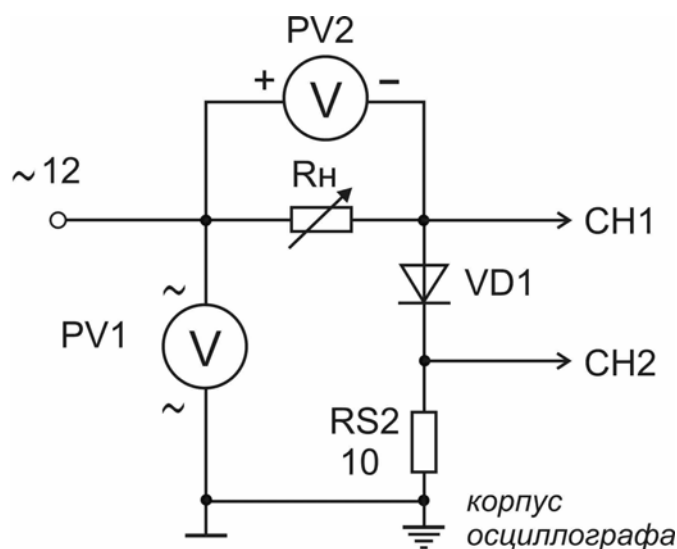


Рис. 1

б) снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке u_d , переключив входы осциллографа, не

забудьте определить масштабы по току и напряжению;

в) измерить с помощью вольтметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

г) включить конденсатор $C2$ параллельно сопротивлению нагрузки (рис. 2); снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a . Снять осциллограмму напряжения на нагрузке u_d , переключив входы осциллографа;

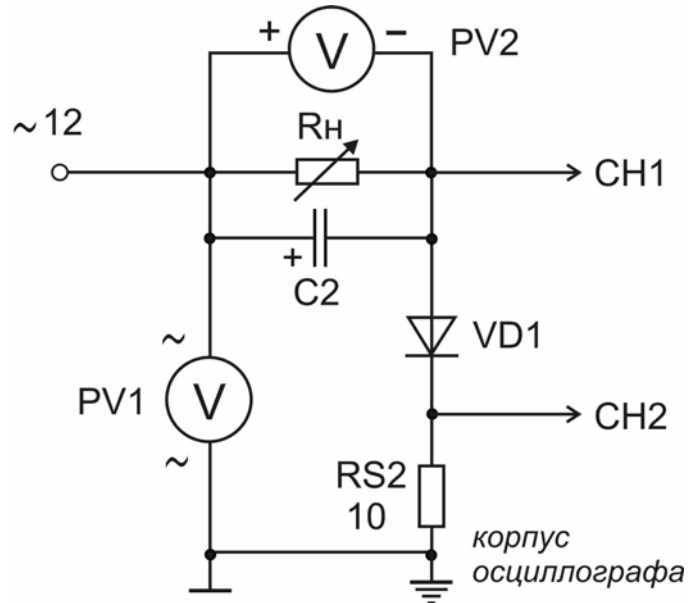


Рис. 2

д) определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением на нагрузке;

е) включить дроссель последовательно с нагрузкой (рис. 3); снять осциллограммы напряжения на диоде u_a и анодного тока i_a , снять осциллограмму напряжения на нагрузке u_d , переключив входы осциллографа;

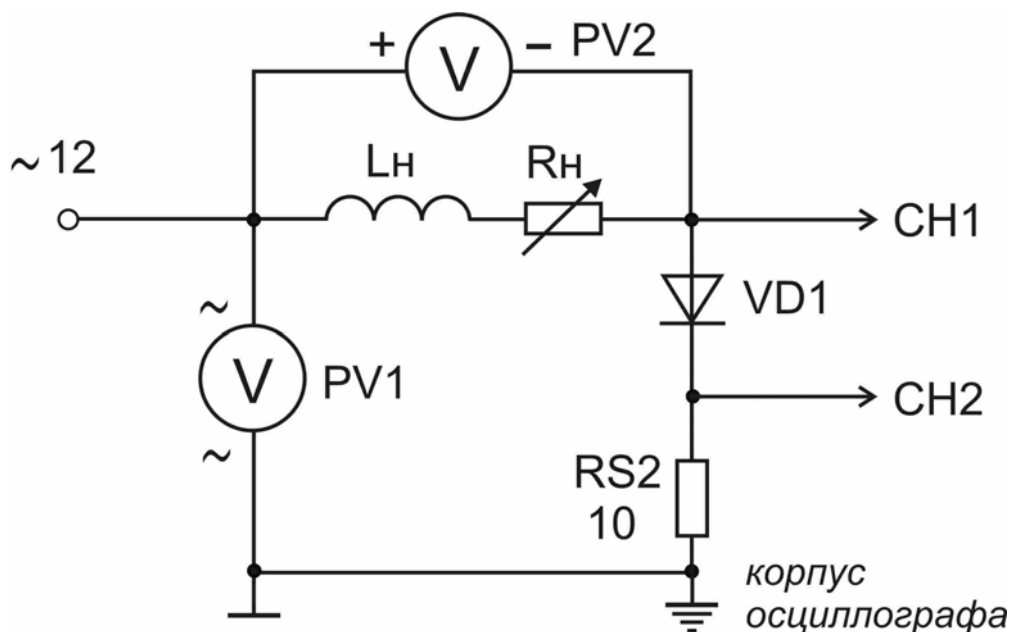


Рис. 3

ж) определить связь между переменным напряжением и постоянным напряжением;

з) сравнить результаты опытов.

4. Содержание отчета

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

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

д) обработанные осциллограммы.

е) выводы по работе, ответить на контрольные вопросы 3 – 6.

5. Контрольные вопросы

1. Как работает неуправляемый 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?

6. Как и почему влияет дроссель на величину напряжения на нагрузке?

Работа № 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы

Ознакомление с применением тиристоров в управляемых выпрямителях.

2. Задание и методические указания

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 преподавателем угла управления при активной нагрузке.

3. Экспериментальное исследование однополупериодного управляемого выпрямителя на тиристоре

а) собрать схему управляемого выпрямителя по рис. 1. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети;

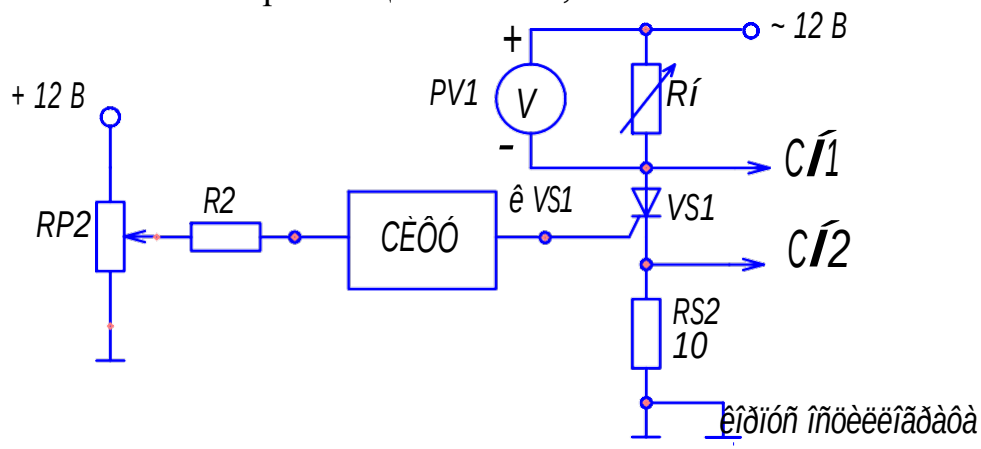


Рис. 1

б) установить заданный угол управления, регулируя сопротивление $RP2$; снять осциллограммы напряжения на тиристоре u_a и анодного тока i_a . Снять

осциллограмму выпрямленного напряжения на нагрузке u_d , подключив осциллограф к R_n ;

в) снять регулировочную характеристику выпрямителя $U_d = f(\alpha)$. Регулируя сопротивление реостата $RP2$, изменять угол управления и построить регулировочную характеристику;

г) включить в цепь нагрузки индуктивность L_n , 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) включить конденсатор C_2 параллельно активному сопротивлению нагрузки, снять те же осциллограммы при заданном угле управления и активно-индуктивно-емкостной нагрузке (при малых пульсациях напряжения на конденсаторе это эквивалентно работе на противо-ЭДС);

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;

з) проделать пункты б)...ж) для запираемого тиристора, т.е. та же схема только вместо VS_1 используется VS_2 и, соответственно выход VS_2 СИФУ должен быть подключен к управляющему электроду VS_2 .

4. 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.

5. 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?
6. Как работает и как выключить запираемый тиристор?
7. Что такое угол управления? По какой осциллограмме его можно определить?

Работа № 15. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

1. Цель работы

Исследование электромагнитных процессов и характеристик выпрямителя, выполненного по однофазной мостовой схеме.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Неуправляемые 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 при заданном преподавателем значении синусоидального напряжения u , а также диаграммы выпрямленного напряжения u_d , анодного тока i_d и напряжения на вентиле u_a при активной нагрузке и при активно-индуктивной нагрузке (при $L_d = \infty$).

3. Экспериментальное исследование однофазной мостовой схемы выпрямления при активной нагрузке

а) собрать схему выпрямителя по рис. 1. Установить заданное значение сопротивления нагрузки R_n . Вольтметр PV1 включить в режиме измерения переменного напряжения, а PV2 в режиме измерения постоянного напряжения. Подключить миллиамперметр постоянного тока на 100 мА. Подключить входы осциллографа к сопротивлению нагрузки R_n . Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа наблюдать осциллограмму выпрямленного напряжения;

б) снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде u_a , переключив входы осциллографа; (не забудьте определить масштабы по току и напряжению);

в) измерить напряжения с помощью вольтметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

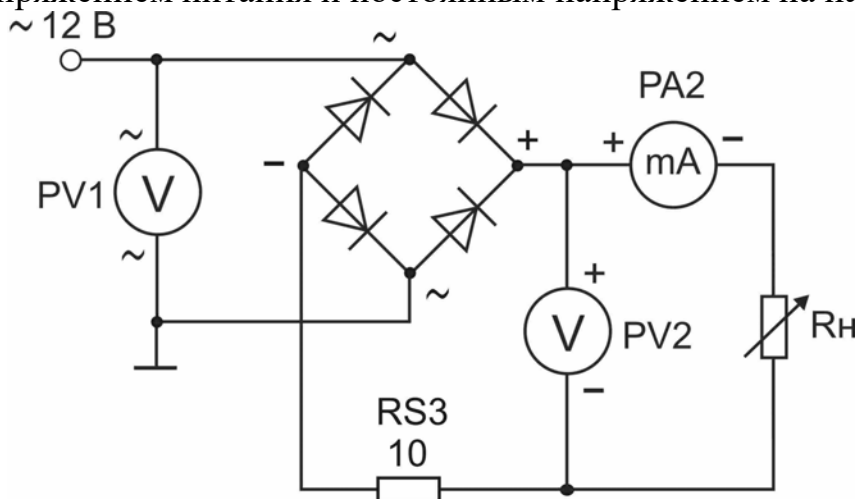


Рис. 1

г) изменяя сопротивление нагрузки R_n , снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

4. Экспериментальное исследование однофазной мостовой схемы выпрямления при активно-индуктивной нагрузке

а) включить дроссель L_n последовательно с нагрузкой R_n ; снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде u_a , аналогично как в пункте 3б.

б) измерить напряжения с помощью вольтметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

в) изменяя сопротивление нагрузки R_n , снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

5. Экспериментальное исследование однофазной мостовой схемы выпрямления при активно-емкостной нагрузке

а) отсоединить L_n и включить конденсатор C_2 параллельно сопротивлению нагрузки R_n ; снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d и выпрямленного тока i_d ; снять осциллограмму напряжения на диоде u_a .

б) измерить напряжения с помощью мультиметров и определить связь между переменным напряжением питания и постоянным напряжением на нагрузке;

в) изменяя сопротивление нагрузки снять внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$.

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; сравнить результаты опытов
- г) обработанные осциллограммы.
- д) выводы по работе, ответить на контрольные вопросы 3 – 6.

7. Контрольные вопросы

- 1. Покажите путь тока в однофазной мостовой схеме.
- 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?
- 6. Как и почему влияет дроссель на величину напряжения на нагрузке?
- 7. Что такое внешняя характеристика?
- 8. От чего зависит вид внешней характеристики?

Работа № 16. ИССЛЕДОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

1. Цель работы

Исследование свойств сглаживающих фильтров: емкостного, индуктивного и Г-образного.

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Сглаживающие фильтры» 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) по заданным преподавателем параметрам схемы рассчитать коэффициент пульсаций q для емкостного фильтра: $q = \frac{1}{m\omega CR_d}$, где ω – угловая частота сети;

m – пульсность (произведение числа фаз на число выпрямляемых полупериодов);

г) по заданным параметрам схемы рассчитать коэффициент сглаживания s и коэффициент пульсаций q на выходе индуктивного фильтра: $s \approx \frac{m\omega L_d}{R_d}$, $q = \frac{q_1 R_d}{m\omega L_d}$,

где q_1 – коэффициент пульсации на входе фильтра;

д) по заданным параметрам схемы рассчитать коэффициент сглаживания s и коэффициент пульсаций q на выходе Г-образного фильтра.

$$s \approx m^2 \omega^2 L_d C; \quad q = \frac{q_1}{S}.$$

При этом должны выполняться условия: $m\omega L_d \gg \frac{1}{m\omega C}$ и $\frac{1}{m\omega C} \ll R_d$.

3. Экспериментальное исследование емкостного фильтра

а) собрать схему по рис. 1. Установить заданное преподавателем значение сопротивления нагрузки R_d . В качестве вольтметра использовать мультиметр PV в режиме измерения постоянного напряжения. Подключить входы осциллографа. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа наблюдать осциллограмму выпрямленного напряжения u_d ;

б) снять осциллограмму выпрямленного напряжения u_d , определить коэффициент пульсаций согласно рис. 2. (не забудьте определить масштаб по напряжению): $q = \frac{U_{n(1)m}}{U_d} \approx \frac{\Delta U_n}{2U_d}$, где $U_{n(1)m}$ – амплитуда первой гармоники пульсаций;

в) сравнить измеренный коэффициент пульсаций с рассчитанным.

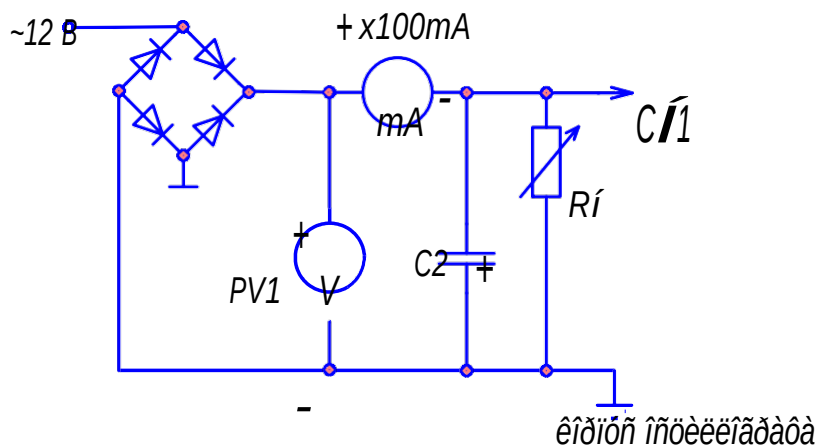


Рис. 1

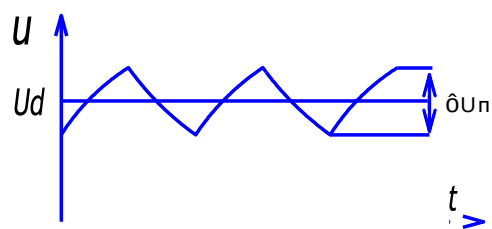


Рис. 2

г) изменяя сопротивление нагрузки снять зависимость коэффициента пульсаций от тока нагрузки $U_d = f(I_d)$.

д) подключить вместо конденсатора C2 конденсатор C3; снять осциллограмму выпрямленного напряжения при том же токе, что и в пункте «б». Сделать вывод о влиянии величины ёмкости на амплитуду пульсаций.

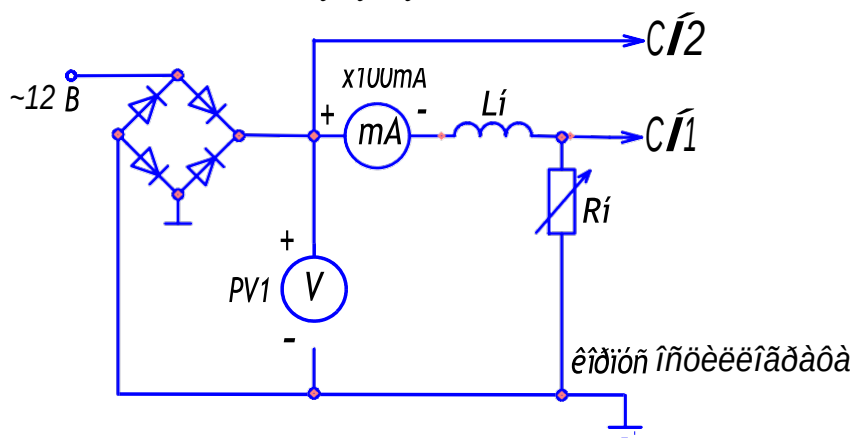


Рис. 3

4. Экспериментальное исследование индуктивного фильтра

а) собрать схему по рис. 3. Включить один или два дросселя последовательно. Установить заданное значение тока нагрузки. На экране осциллографа наблюдать осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра;

б) снять осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра, определить коэффициенты пульсаций q_1 и q (согласно рис. 2) и коэффициент сглаживания s : $s = \frac{q_1}{q}$;

в) сравнить измеренные коэффициенты пульсаций и сглаживания с рассчитанными;

г) изменяя сопротивление нагрузки, снять зависимость коэффициента пульсаций от тока нагрузки $U_d = f(I_d)$.

5. Экспериментальное исследование Г-образного фильтра

а) собрать схему по рис. 4. Установить заданное значение тока нагрузки R_n . В

качестве вольтметра использовать PV1. Подключить входы осциллографа;

- б) снять осциллограммы напряжений на входе и выходе фильтра, определить коэффициенты пульсаций (согласно рис. 2) и коэффициент сглаживания;
- в) сравнить измеренные коэффициенты пульсаций и сглаживания с рассчитанными.

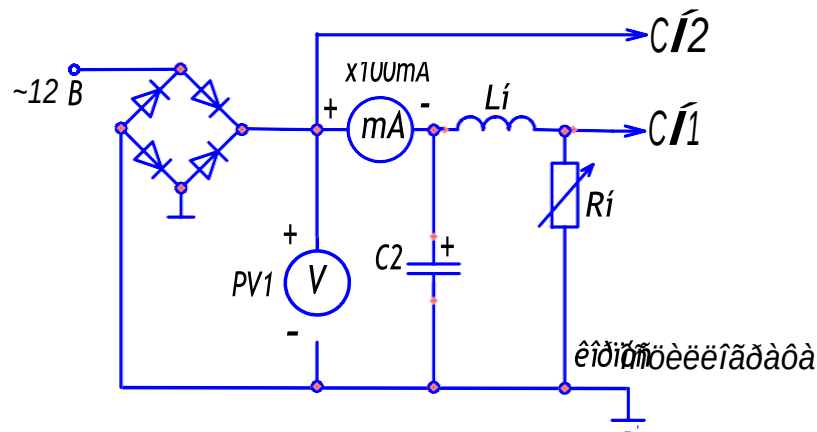


Рис. 4

- г) изменяя сопротивление нагрузки, снять зависимость коэффициента пульсаций от сопротивления нагрузки $U_d = f(R_d)$.

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; сравнить результаты опытов;
- г) обработанные осциллограммы;
- д) выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Каково назначение фильтров в преобразовательной технике?
2. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения емкостных фильтров.
3. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения индуктивных фильтров.
4. Принцип действия, преимущества, недостатки и область применения Г-образных фильтров.
5. Как и почему влияет конденсатор фильтра на форму анодного тока?
6. Как и почему влияет дроссель фильтра на форму анодного тока?

Работа № 17. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПЯЖЕНИЯ

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_d 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.

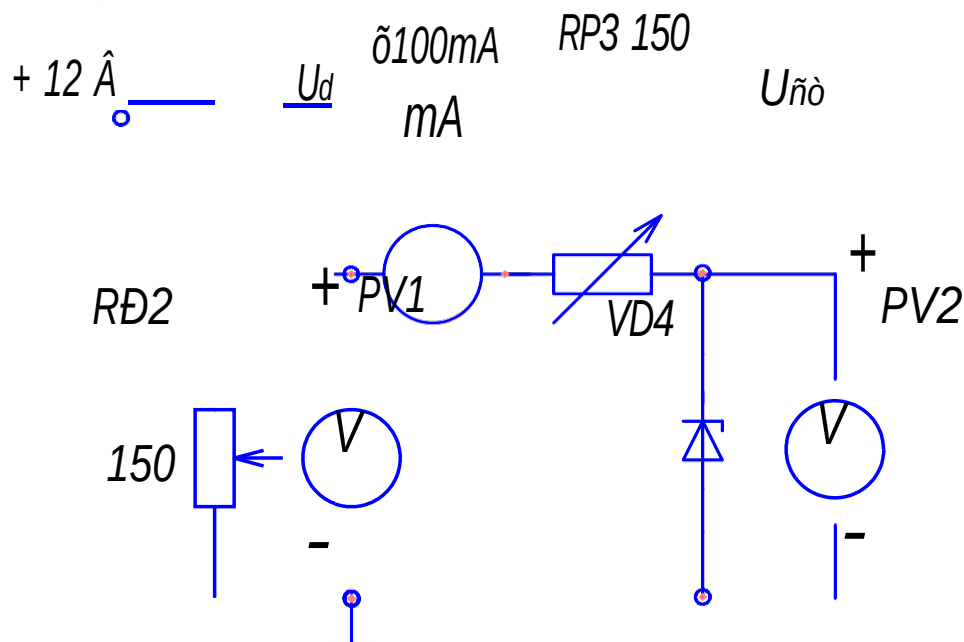


Рис. 1

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_n (рис. 2). Для измерения тока нагрузки I_n включить миллиамперметр с пределом 100 мА;

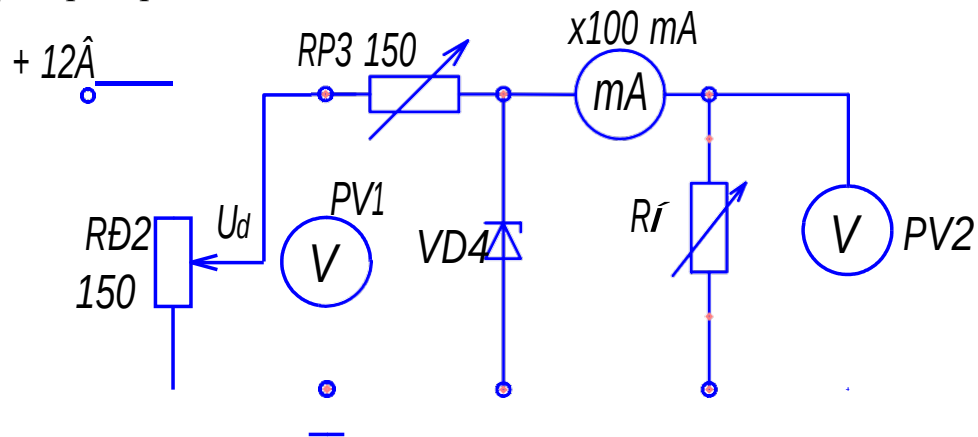


Рис. 2

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_{nmax} , при котором прекращается стабилизация U_{cm} . Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от тока нагрузки: $U_{cm} = f(I_n)$;

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

$$R_{вых} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I} = \left| \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_n} \right|.$$

см

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_{nmax} , 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?

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ
ЧАСТЬ 2**

Направление подготовки	11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Профиль	Промышленная электроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника
Квалификация выпускника	бакалавр

Ставрополь, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Описание лабораторного стенда	5
Общие рекомендации к выполнению лабораторных работ.....	9
Работа №1. Исследование диодов, неуправляемого выпрямителя и параметрического стабилизатора напряжения	12
Работа №2. Исследование биполярного транзистора и транзисторного усилительного каскада	19
Работа №3. Исследование полевого транзистора и транзисторного усилительного каскада	28
Работа №4. Исследование тиристоров, симисторов, запираемых тиристоров, управляемых выпрямителей и преобразователей переменного напряжения	36
Работа №5. Исследование инвертирующего усилителя, интегратора и компаратора	44
Работа №6. Исследование инвертирующего и неинвертирующего усилителя	52
Работа №7. Исследование инвертирующего, суммирующего и вычитающего операционных усилителей	57
Работа №8. Исследование компараторов и мультивибратора	64
Работа №9. Исследование комбинационных цифровых интегральных микросхем	70
Работа №10. Исследование последовательностных цифровых интегральных микросхем	74
Работа №11. Исследование оптоэлектронных приборов	80

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие содержит лабораторные работы, выполняемые студентами при изучении курсов «Физические основы электроники», «Промышленная электроника» и других курсов с близкими названиями.

Основная задача данного цикла лабораторных работ – предоставить студентам возможность практически изучить полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы, а также простейшие устройства на их основе. Студенты должны приобрести навыки работы с электронными схемами и закрепить материал, изученный теоретически.

Для более глубокого изучения материала студенты дома до выполнения лабораторной работы производят предварительные расчеты и построения. Каждый студент получает индивидуальное задание. Лабораторная работа в значительной степени является проверкой предварительно выполненного задания. При отсутствии домашнего задания выполнение лабораторной работы нецелесообразно.

Для проверки знаний студентов перед лабораторной работой проводится коллоквиум на основе контрольных вопросов, помещенных в пособие.

Особое внимание при выполнении лабораторных работ уделяется развитию навыков работы с электронным осциллографом.

После выполнения лабораторной работы студенты составляют индивидуальные отчеты. Отчеты содержат как результаты проверки индивидуальных заданий, так и результаты общих экспериментальных исследований.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

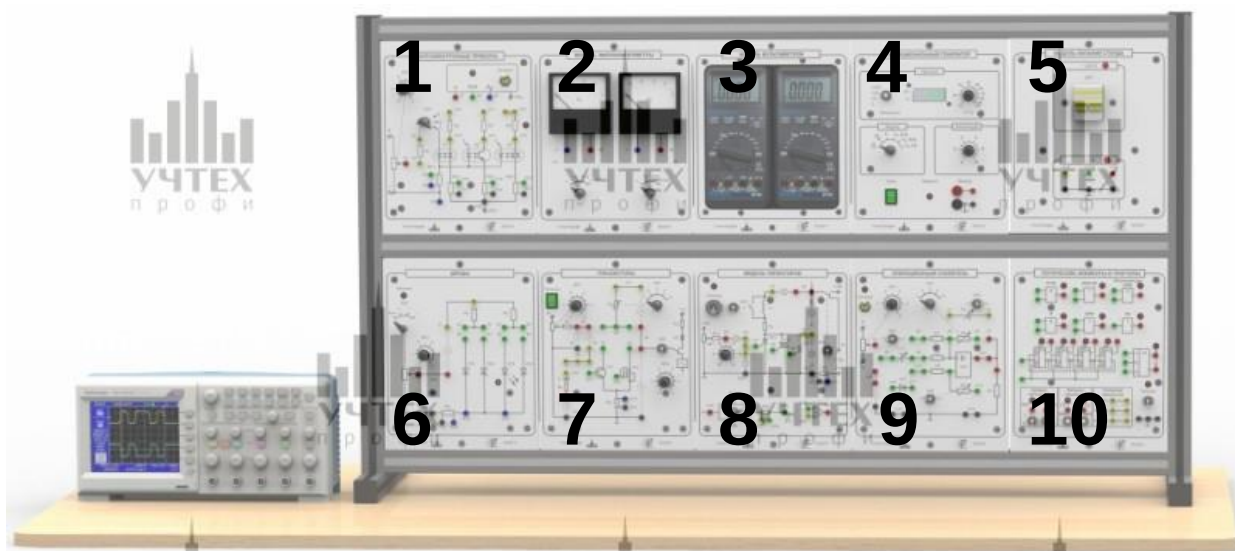


Рис. 1 Общий вид лабораторного стенда

Перечень модулей, входящих в состав лабораторного стенда (рис. 1): 1 – Оптоэлектронные приборы, 2 – Миллиамперметры, 3 – Мультиметры, 4 – Функциональный генератор, 5 – Модуль питания, 6 – Диоды, 7 – Транзисторы, 8 – Тиристоры, 9 – Операционный усилитель, 10 – Логические элементы и триггеры. Описание исследуемых модулей приведено в соответствующих лабораторных работах и техническом описании стенда. Описание модулей питания и измерения приведено ниже.

Модуль питания стенда

Модуль питания стенда (рис. 2) предназначен для ввода напряжения 220 В из сети в лабораторный стенд, защиты стенда от токов короткого замыкания и подачи силовых и низких напряжений питания на модули стенда.

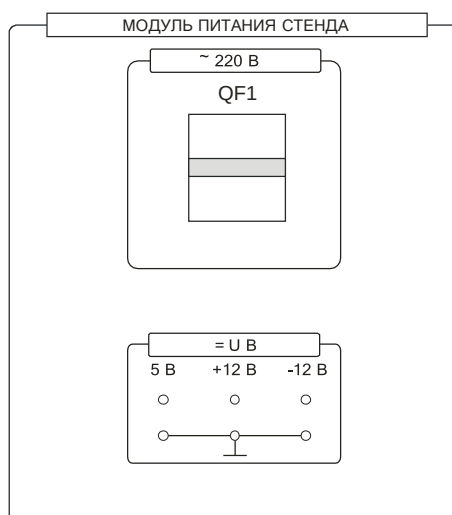


Рис. 2. Модуль питания

Модуль содержит автоматический двухполюсный выключатель $QF1$ и вторичный источник питания низковольтных цепей модулей напряжениями ± 15 В и +5 В.

На лицевой части имеется индикация постоянных напряжений питания +5 В, +15 В и –15 В. Кроме этого возможен контроль низких постоянных напряжений с лицевой панели (выведены соответствующие гнезда напряжений и общего провода).

Модуль «Миллиамперметры»

Измерительный модуль «Миллиамперметры» (рис. 3) позволяет измерить стрелочными приборами магнитоэлектрического типа одновременно два тока (приборами А1 и А2). Диапазоны измерений приборов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование прибора	Диапазон измерения
A1	0...0,1; 0...1; 0...10; 0...100 мА
A2	0...0,1; 0...1; 0...10; 0...100 мА

Модуль «Мультиметры»

Модуль «Мультиметры» (см. рис. 4) включает в себя два цифровых прибора типа MS8221A и используется в основном для измерения напряжений, диапазоны измерений которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Измеряемый параметр	Диапазоны измерения
Постоянное напряжение	0...±200 мВ; 0...±2 В; 0...±20 В; 0...±200 В; 0...±1000 В
Постоянный ток	0...±2 мА; 0...±20 мА; 0...±200 мА; 0...±10 А

Примечание. Будьте внимательны при измерении тока – входные гнезда мультиметра необходимо соответственно подключить на «мА» или «10 А»!

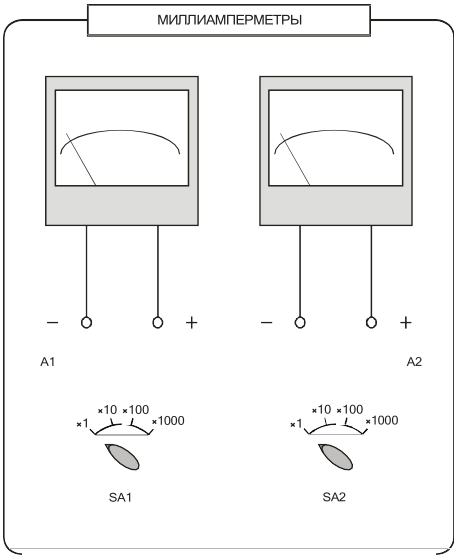


Рис. 3. Модуль «Миллиамперметры»

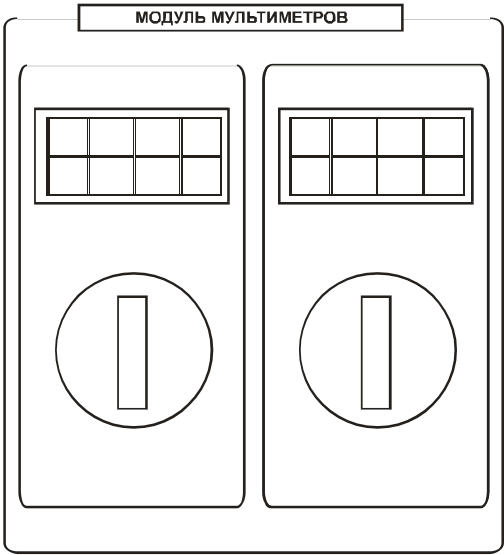


Рис. 4. Модуль «Мультиметры»

Модуль «Функциональный генератор»

Модуль «Функциональный генератор» (рис. 5) предназначен для формирования тестовых сигналов синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы.

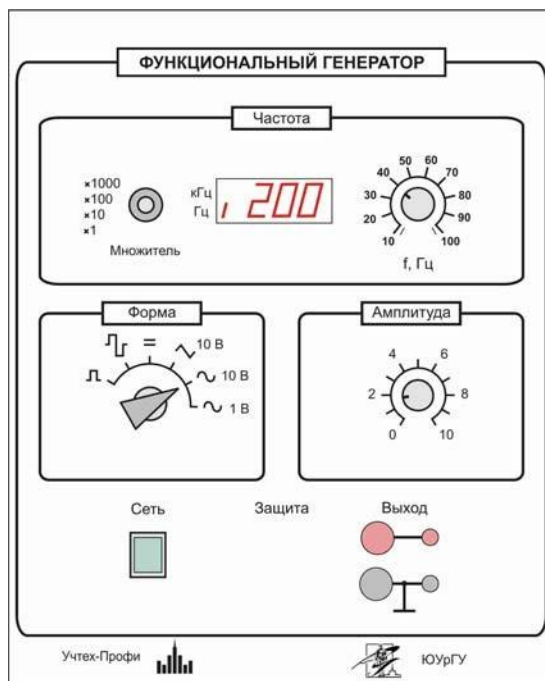


Рис.6. Функциональный генератор

Форма выходного сигнала устанавливается с помощью переключателя «Форма». Установка поддиапазона генерируемой частоты выполняется с помощью кнопки «Множитель», плавная установка частоты в поддиапазоне – с помощью регулятора «f, Гц».

В модуле предусмотрена возможность регулирования частоты, амплитуды, смещения и скважности выходного сигнала. Диапазон регулирования частот: 10 Гц – 100 кГц. Максимальная амплитуда выходного сигнала 10 В. Модуль оснащен встроенным частотомером, который отображает текущую частоту в «Гц» или «кГц».

Электронный осциллограф

Электронный осциллограф предназначен для наблюдения на экране электронно-лучевой трубки функциональных зависимостей сигналов, изменений электрических сигналов во времени, а также для измерения различных электрических величин. Как пример, предлагается использовать цифровой двухканальный осциллограф SDS 1022DL или его русифицированный аналог АКПП-4115/1А.

На рис. 6 показана передняя панель осциллографа SDS 1022DL.

Характеристики и инструкции по использованию осциллографа приведены в прилагаемом к нему руководству по эксплуатации.

При использовании цифрового осциллографа рекомендуется внимательное изучение прилагаемого к нему руководства. Например, столкнувшись с помехами на экране, неизбежными при исследовании импульсных схем, следует произвести определенные настройки осциллографа.

В частности, в меню осциллографа есть кнопка «сбор информации». Среди ее функций есть способ обработки аналогового сигнала в цифровую форму. Изначально, по умолчанию эта функция установлена в режим «выборка» (обычная дискретизация в реальном масштабе времени). При этом на экране осциллографа отображаются все улавливаемые помехи. В этом случае рекомендуем установить способ обработки сигнала в режим «усреднение» и выбрать среднее число усреднений, например, 32 (большее число усреднений увеличивает время обработки сигнала). Таким образом удастся отфильтровать большинство помех. После выключения осциллографа, он, как правило, сохраняет в памяти произведенные настройки и повторно их устанавливать нет необходимости. Однако, в некоторых режимах работы осциллограф может сбросить эти настройки.

Помимо этого, каждый канал осциллографа имеет свой настраиваемый фильтр. При необходимости рекомендуем пользоваться и им.

В режим X/Y данный осциллограф включается иначе, чем аналоговые осциллографы (переключением ручки развертки в соответствующее положение). Для включения осциллографа в режим X/Y необходимо в блоке «Меню» нажать кнопку «Дисплей». Далее найти в появившемся подменю пункт «Формат» и соответствующей кнопкой переключить режим с YТ на XY. Перед тем как перейти в режим X/Y рекомендуем сначала в обычном режиме добиться приемлемых осциллограмм и после этого перейти в режим X/Y.

При использовании двухканального осциллографа возникает опасность коротких замыканий в схеме через два провода измерительных шнуров, связанных с корпусом осциллографа (обычно они черного цвета).

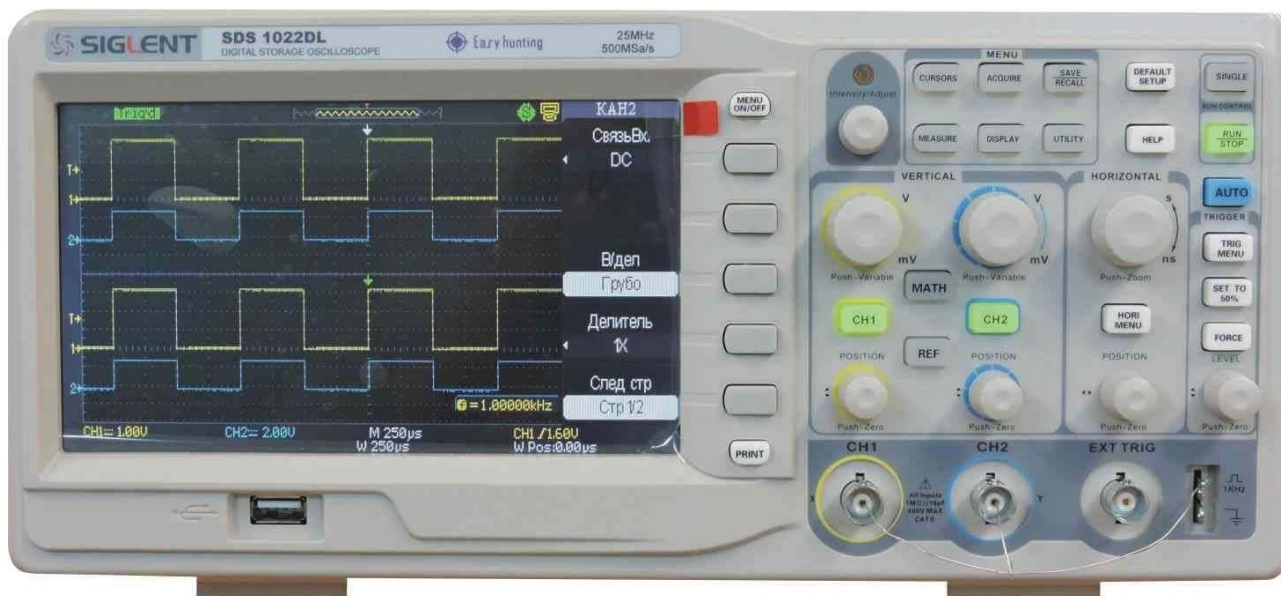


Рис. 7. Передняя панель осциллографа SDS 1022DL.

Аналогично, сигнал внешней синхронизации должен подаваться на вход внешней синхронизации только одним проводом. При этом сигнал подается относительно точки, к которой подключен корпус осциллографа («⊥»).

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Порядок выполнения работ

Перед выполнением работ все студенты должны изучить правила техники безопасности применительно к лаборатории промышленной электроники, для чего преподавателем проводится инструктаж. Краткий инструктаж проводится также на каждом занятии.

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

- 1) ознакомиться с ее содержанием и, пользуясь рекомендованной литературой и конспектом лекций, изучить теоретические положения, на которых базируется работа;
- 2) выполнить предварительное домашнее задание;
- 3) изучить схему лабораторной установки и продумать методику выполнения лабораторной работы;
- 4) ответить на контрольные вопросы.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) ознакомиться с рабочим местом, проверить наличие необходимых приборов и соединительных проводов;
- 2) проверить положение стрелок электроизмерительных приборов; приборы с несколькими пределами измерения включить на наибольший предел;
- 3) произвести сборку схемы;
- 4) после разрешения преподавателя включить питание и приступить к выполнению работы;
- 5) в начале каждого опыта, изменяя напряжения и токи в допустимых пределах, качественно оценить характер зависимости, а затем произвести требуемые измерения. При снятии характеристик надо обязательно снять крайние точки. Наибольшее число измерений следует производить на участках резкого изменения наклона характеристик, а на линейных участках независимо от их протяженности достаточно снимать по три точки. Характеристики строятся непосредственно во время проведения эксперимента;
- 6) в ходе работы и по ее окончании полученные данные представлять на проверку преподавателю;
- 7) схему разбирать только после проверки преподавателем результатов опыта (перед разборкой не забудьте выключить источник питания!);
- 8) по окончании работы привести в порядок рабочее место.

Рекомендации по работе с осциллографом

Масштабы по напряжению m_u каналов ввода сигналов соответствуют указанным на осциллографе. При измерении напряжения на шунте масштаб по току

$$m_i = \frac{m_u}{R_{ш}} \frac{A}{\text{дел.}}, \quad (1)$$

где $R_{ш}$ – сопротивление шунта.

Масштаб в угловых единицах (градусах)

$$m_{\omega t} = 360 f m_t \frac{\text{град}}{\text{дел.}}, \quad (2)$$

при этом масштаб по времени $m_{\omega t}$ должен быть выражен в «с/дел.».

Удобнее определять масштаб в градусах, зная период сигнала на экране. Тогда

$$m_{\omega t} = \frac{360}{T_{\text{дел}}} \frac{\text{град}}{\text{дел.}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{дел.}}$ – длительность периода на экране в делениях.

Рекомендации по обеспечению техники безопасности при работе с осциллографом

При применении двухканального осциллографа возникает опасность коротких замыканий в схеме через два провода входов, связанных с корпусом осциллографа.

От осциллографа в исследуемую схему должен идти только один провод, связанный с корпусом «⊥», он чёрного цвета. Этот провод необходимо использовать в кабеле, предназначенном для измерения меньших напряжений. При этом оба сигнала будут измеряться относительно точки, к которой подсоединен корпус осциллографа («⊥»). Рекомендуем на одном из осциллографических шнуров общий проводник чёрного цвета изолировать так, чтобы исключить возможность его подключения в схему.

Аналогично, сигнал внешней синхронизации должен подаваться на вход внешней синхронизации только одним проводом. При этом сигнал подается относительно точки, к которой подключен корпус осциллографа («⊥»).

Также следует помнить, что при подключении осциллографа к сети через евророзетку с заземляющим контактом, корпус осциллографа («⊥») будет напрямую соединён с этим заземляющим контактом и, соответственно, как правило, с нейтралью сети.

Целесообразно, чтобы не менять (мало менять) масштабы, подавать сигналы напряжения на один канал, а тока – на другой. Канал *CH2*, позволяющий инвертировать входной сигнал, в лабораторных работах удобнее использовать для осциллографирования напряжений.

Эти рекомендации являются обязательными! Их невыполнение может привести к выходу из строя модулей стенда.

Оформление отчетов по лабораторным работам

В отчете должна быть сформулирована цель проведенной работы и представлены следующие материалы:

- 1) схемы экспериментов;
- 2) предварительное домашнее задание;
- 3) рассчитанные характеристики и подтверждающие их экспериментальные характеристики, построенные в одних осях координат;

- 4) сравнительные таблицы экспериментальных и расчетных данных;
- 5) все остальные экспериментальные характеристики;
- 6) обработанные осциллограммы;
- 7) выводы (анализ экспериментальных данных, вида кривых, причин погрешностей и т. д.).

Отчет оформляется чернилами или шариковой ручкой. Схемы вычерчиваются карандашом. Графики строятся на листах миллиметровой бумаги карандашом и вклеиваются в отчет. Отчет может быть напечатан на принтере.

Опытные точки могут иметь разброс. Экспериментальные кривые проводят плавно, максимально приближая к экспериментальным точкам. На графиках приводят название, обозначают, к какому опыту они относятся, и указывают постоянные величины, определяющие условия опыта. На осях координат надо обязательно указать, какая величина по ним отложена, в каких единицах она измеряется, и нанести деления. Цена деления должна быть удобной для работы.

Пример обработки осциллограммы приведен на рис. 9.

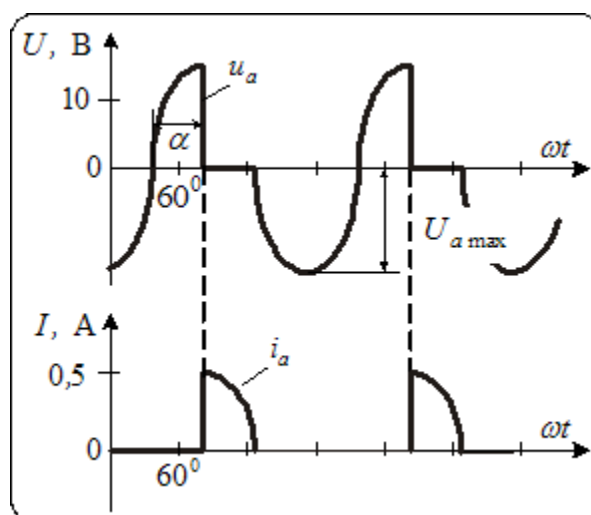


Рис. 9. Пример обработки осциллограмм

Работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДОВ, НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Изучение характеристик и параметров диодов – выпрямительных, Шоттки, стабилитронов и светодиодов. Ознакомление с применением выпрямительных диодов в неуправляемых выпрямителях, стабилитронов в параметрических стабилизаторах постоянного напряжения, светодиодов в индикаторах.

Описание лабораторной установки

При выполнении работы используются следующие модули: «Диоды», «Мультиметры», «Миллиамперметры», а также двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля «Диоды» представлена на рис. 1. На ней приведена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы. На мнемосхеме изображены: выпрямительный диод $VD1$, диод Шоттки $VD2$, светодиод $VD3$, стабилитрон $VD4$, потенциометр $RP1$ для изменения подаваемого напряжения, резистор $R_n = 150 \text{ Ом}$, и балластный резистор $R_6 = 1,1 \text{ кОм}$. Резистор R_n используется в качестве ограничивающего ток при снятии характеристик и в качестве сопротивления нагрузки при исследовании выпрямителя. Переключатель $SA1$ предназначен для включения переменного или постоянного напряжения (положительного или отрицательного), а также выключения питания модуля. Шунт $R_{ш} = 10 \text{ Ом}$ служит для осциллографирования сигнала, пропорционального току через диод. На передней панели размещены также гнезда для осуществления внешних соединений ($X1 - X15$).

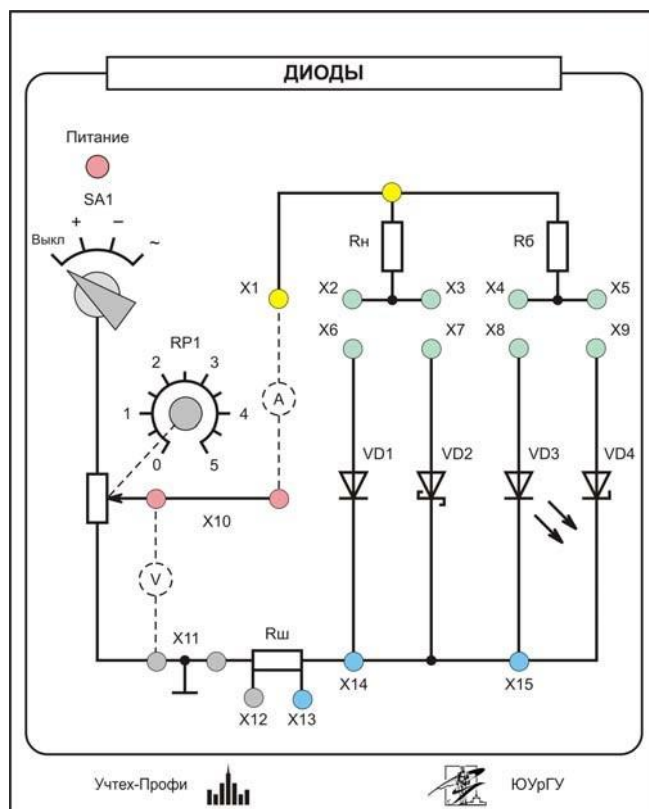


Рис. 1. Модуль «Диоды»

Питание модуля осуществляется от источников сетевого переменного $\sim 220\text{В}$ и постоянного напряжения $\pm 15\text{ В}$.

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

- а) изучить тему курса «Полупроводниковые диоды» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;
- б) начертить схему для снятия ВАХ выпрямительного диода на постоянном токе и схему для исследования параметрического стабилизатора;
- в) начертить схему для снятия ВАХ выпрямительного диода на переменном токе и схему для исследования светодиода;
- г) начертить схему для снятия ВАХ стабилитрона на переменном токе и схему для исследования выпрямителя;
- д) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения u , выпрямленного напряжения u_n , анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a . Амплитудное значение U_m переменного напряжения взять из таблицы вариантов. Вентиль считать идеальным;
- е) для идеализированной ВАХ стабилитрона построить линию нагрузки, если напряжение стабилизации стабилитрона $U_{ст} = 6,8\text{ В}$, его дифференциальное сопротивление r_d на участке стабилизации равно нулю, напряжение питания U_n – в соответствии с таблицей вариантов. Определить ток I_6 через балластный резистор;
- ж) для светодиода определить величину балластного сопротивления R_6 , если максимально возможный ток через светодиод $I_{max} = 10\text{ мА}$, пороговое напряжение светодиода $U_0 = 2\text{ В}$, напряжение питания U_n взять из таблицы вариантов.

2. Экспериментальное исследование выпрямительного диода:

- а) собрать схему для исследования выпрямительного диода на постоянном токе (рис. 2). Соединить перемычкой гнезда $X2 - X6$. Для измерения анодного тока включить многопредельный миллиамперметр (модуль «Миллиамперметры») на пределе « $\times 1000$ » (максимальный ток 100 мА) между гнездами $X1 - X10$. Для измерения анодного напряжения между гнездами $X3$,

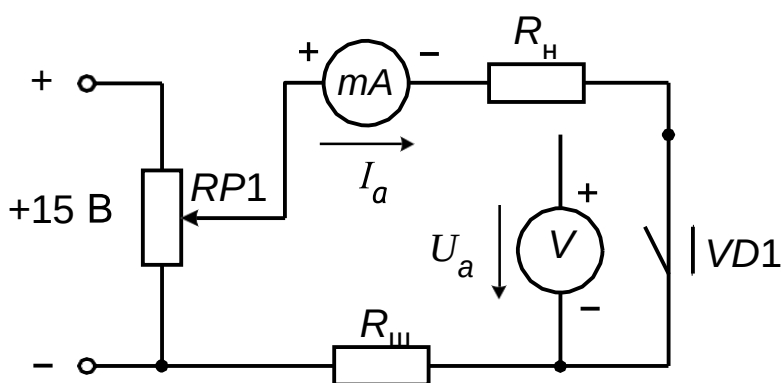


Рис. 2. Схема для исследования выпрямительного диода на постоянном токе

$X14$ включить мультиметр на пределе « 2 В », при больших напряжениях перейти на предел « 20 В ». Переключить тумблер $SA1$ в положение « $+$ »;

б) снять по точкам вольтамперную характеристику выпрямительного диода на постоянном токе. Для этого потенциометром $RP1$ изменять напряжение на входе, фиксируя анодный ток I_a и анодное напряжение U_a на диоде $VD1$. ВАХ снимать сначала для прямой, а затем обратной ветви, установив переключатель $SA1$ на «—». При смене ветви не забыть изменить полярности миллиамперметра и вольтметра и их пределы измерения!

После выполнения эксперимента перевести переключатель $SA1$ в положение «Выкл». Ручку потенциометра $RP1$ установить в положение «0»;

в) по построенной вольтамперной характеристике определить основные параметры диода: пороговое напряжение U_0 , дифференциальное сопротивление r_d , обратный ток $I_{обр}$, прямое падение напряжения $U_{a\max}$ при максимальном анодном токе $I_{a\max}$;

г) собрать схему для исследования выпрямительного диода на переменном токе с целью получения ВАХ диода на экране осциллографа (рис. 3). Вход $CH2(Y)$ осциллографа подключить к шунту $R_{ш}$ (гнездо $X13$), а корпус осциллографа «⊥» соединить с гнездом $X12$. Вход $CH1(X)$ осциллографа подключить к гнезду $X3$. При этом осциллограф должен быть переведен в положение X/Y (кнопка меню «Дисплей», подменю «Формат»). Подать питание – переключатель $SA1$

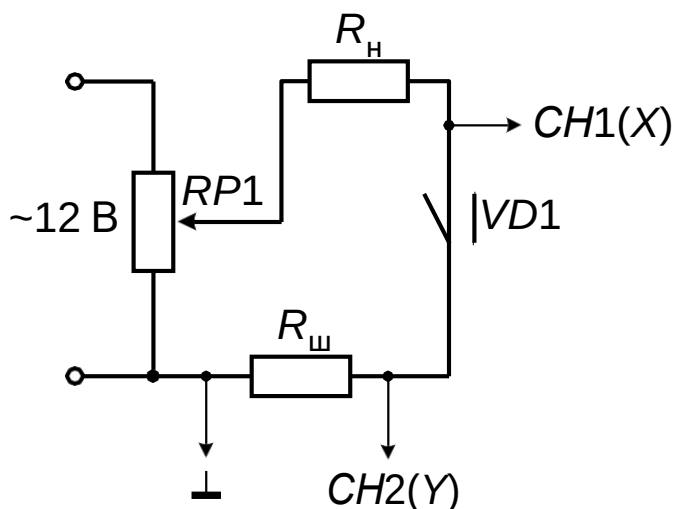


Рис. 3. Схема для исследования выпрямительного диода на переменном токе

установить в положение «~». Светящуюся точку на экране осциллографа поместить в начало координат. Вращать ручку

потенциометра $RP1$ до положения «5». Зарисовать ВАХ диода. Определить масштабы по току и напряжению.

После выполнения эксперимента перевести переключатель $SA1$ в положение «Выкл». Ручку потенциометра $RP1$ установить в положение «0»;

д) определить по осциллограмме параметры диода: пороговое напряжение U_0 , дифференциальное сопротивление r_d , обратный ток $I_{обр}$, прямое падение напряжения $U_{a\max}$ при максимальном анодном токе $I_{a\max}$. Сравнить с параметрами определенными в п. 2 в, объяснить причину различий.

3. Экспериментальное исследование однополупериодного выпрямителя на диоде:

а) собрать схему выпрямителя (рис. 3) – это не потребует никаких переключений на модуле. Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. На экране осциллографа Вы увидите осциллограммы анодного тока i_a и напряжения на диоде u_a ;

б) исследовать выпрямитель, для этого установить на входе напряжение с амплитудой U_m , указанной в таблице вариантов. Измерение напряжения производить при помощи осциллографа, подключив вход *CH2* осциллографа к гнезду *X10*, а корпус осциллографа «⊥» – к гнезду *X12*. Канал *CH1* осциллографа рекомендуется отключить от модуля;

в) снять осциллограммы напряжения на диоде u_a (вход *CH1* осциллографа подключить к гнезду *X3*) и анодного тока i_a (вход *CH2* осциллографа подключить к гнезду *X13*, а корпус осциллографа «⊥» уже соединен с гнездом *X12*). Переключить осциллограф в двухканальный режим развёртки во времени. Зарисовать с экрана осциллографа временные диаграммы сигналов друг под другом. Снять осциллограмму напряжения на нагрузке u_n . Для этого корпус осциллографа подключить к гнезду *X3*, а вход канала *CH2* к гнезду *X1* (не забудьте определить масштабы по току и напряжению).

После выполнения эксперимента перевести переключатель *SA1* в положение «Выкл». Ручку потенциометра *RP1* установить в положение «0».

4. Экспериментальное исследование диода Шоттки:

а) собрать схему для исследования диода Шоттки на постоянном токе (рис. 4). Соединить перемычкой гнезда *X3*, *X7*. Для измерения анодного тока включить многопредельный миллиамперметр (модуль «Миллиамперметры») на пределе « $\times 1000$ » (максимальный ток 100 мА) между гнездами *X1* – *X10*. Для измерения анодного

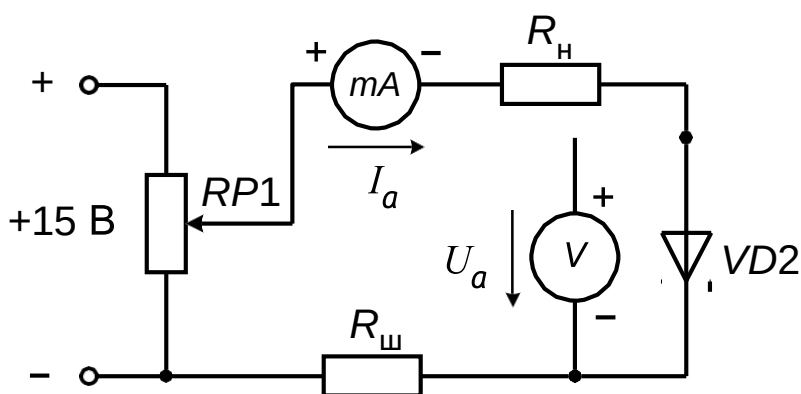


Рис. 4. Схема для исследования диода Шоттки на постоянном токе

напряжения между гнездами *X2* – *X14* включить мультиметр на пределе «2 В», при больших напряжениях перейти на предел «20 В». Переключить тумблер *SA1* в положение «+»;

б) снять по точкам вольтамперную характеристику диода Шоттки на постоянном токе. Для этого потенциометром *RP1* изменять напряжение на входе, фиксируя анодный ток I_a и анодное напряжение U_a на диоде *VD2*. ВАХ снять сначала для прямой, а затем обратной ветви, установив переключатель *SA1* на «–». При смене ветви не забыть изменить полярности миллиамперметра и вольтметра и их пределы измерения!

После выполнения эксперимента перевести переключатель *SA1* в положение «Выкл». Ручку потенциометра *RP1* установить в положение «0»;

в) по построенной вольтамперной характеристике определить основные параметры диода Шоттки: пороговое напряжение U_0 , дифференциальное

сопротивление r_d , обратный ток $I_{обр}$, прямое падение напряжение $U_{a\max}$ при максимальном анодном токе $I_{a\max}$. Сравнить с параметрами выпрямительного диода.

5. Экспериментальное исследование стабилитрона:

а) собрать схему для исследования стабилитрона VD4 на переменном токе (рис. 5). Соединить перемычкой гнезда

X5 – X9. Вход CH2(Y) осциллографа подключить к шунту $R_{ш}$ (гнездо X13), а корпус осциллографа «⊥» соединить с гнездом X12. Вход CH1(X)

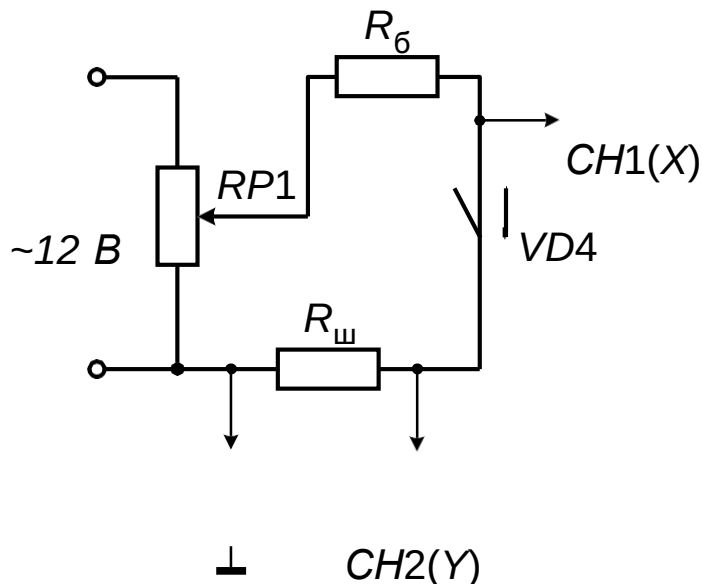


Рис. 5. Схема для исследования стабилитрона

осциллографа подключить к гнезду X4. При этом осциллограф должен быть переведен в режим X/Y. Подать питание – переключатель SA1 установить в положение «~». Светящуюся точку на экране осциллографа поместить в начало координат. Вращать ручку потенциометра RP1 до положения «5». Зарисовать ВАХ стабилитрона, определить масштабы по току и напряжению.

После выполнения эксперимент перевести переключатель SA1 в положение «Выкл». Ручку потенциометра RP1 установить в положение «0»;

б) по снятой ВАХ определить напряжение стабилизации $U_{ст}$ стабилитрона и дифференциальное сопротивление r_d на участке стабилизации.

6. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора:

а) собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (рис. 6). Включить вольтметры измерительного

модуля на вход и выход стабилизатора, соответственно между гнездами X10 – X11 и X4 – X15. Подать постоянное напряжение переключателем SA1 (см. рис. 6, обратите внимание на полярность).

б) снять и построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{вых} = f(U_{п})$.

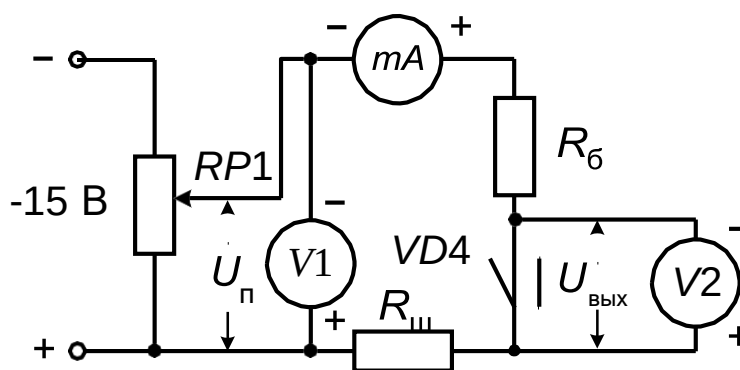


Рис. 6. Схема для исследования параметрического стабилизатора

Для этого, изменяя потенциометром напряжение питания $U_{п}$ на входе стабилизатора, замерять соответствующее ему выходное напряжение $U_{вых}$. Определить напряжение стабилизации стабилизатора $U_{вых}$. Сравнить его с напряжением $U_{ст}$, найденным в п. 5 б.

Перевести переключатель SA1 в положение «Выкл». Ручку потенциометра RP1 установить в положение «0»;

в) определить коэффициент стабилизации стабилизатора $K_{ст}$ и выходное сопротивление $R_{вых}$ на участке стабилизации.

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{п}}{\Delta U_{вых}}; \quad R_{вых} = r_d.$$

7. Экспериментальное

исследование светодиода:

а) собрать схему для исследования светодиода на постоянном токе.

Соединить перемычкой

гнезда X4 – X8 (рис. 7). Для измерения анодного тока включить многопредельный миллиамперметр (модуль «Миллиамперметры») на

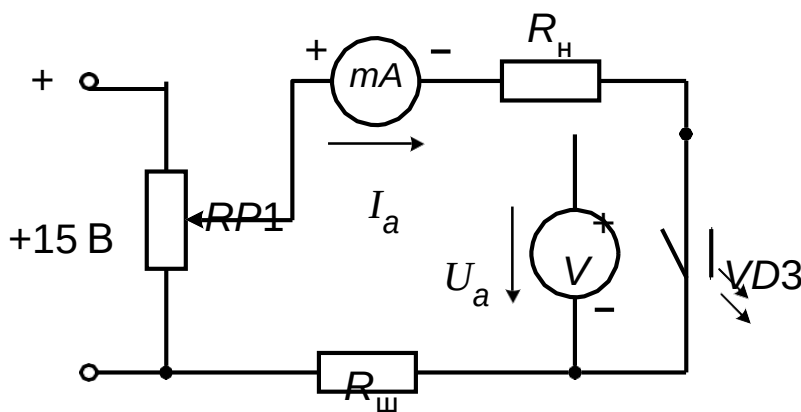


Рис. 7. Схема для исследования светодиода

пределе « $\times 100$ » (максимальный ток 10 мА) между гнездами X1 – X10. Для измерения анодного напряжения между гнездами X5 – X15 включить вольтметр. Переключить тумблер SA1 в положение «+»;

б) снять по точкам вольтамперную характеристику светодиода на постоянном токе. Для этого, вращая ручку потенциометра RP1 до положения «5», изменять напряжение на входе, фиксируя анодный ток I_a и анодное напряжение U_a на светодиоде VD3.

Снимать только прямую ветвь ВАХ светодиода. Записать значение анодного тока I_a при котором становится заметным свечение.

Перевести переключатель SA1 в положение «Выкл». Ручку потенциометра RP1 установить в положение «0».

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

а) наименование и цель работы;

б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов в соответствии с мнемосхемой, представленной на рис. 1;

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. Обязательно ответить на контрольные вопросы 7, 12 – 15, указать причины отличий результатов, полученных на постоянном токе и с помощью осциллографа.

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются полупроводники типа p и n ?
2. Каковы свойства p - n перехода?
3. Объясните вид ВАХ p - n перехода?
4. Как снять по точкам ВАХ диода?
5. Как снять ВАХ диода с помощью осциллографа?
6. Поясните вид ВАХ стабилитрона.
7. В чем отличие ВАХ выпрямительного диода, диода Шоттки, стабилитрона и светодиода?
8. Как работает неуправляемый выпрямитель?
9. Как и для чего строят временные диаграммы токов и напряжений в схеме выпрямителя?
10. Как работает параметрический стабилизатор напряжения? Для чего служит балластный резистор?
11. Как изменится напряжение на выходе стабилизатора при повышении температуры?
12. При каком минимальном напряжении на входе стабилизатора еще возможна стабилизация напряжения?
13. От какого параметра зависит качество стабилизации напряжения?
14. От чего зависит яркость свечения светодиода?
15. Какой элемент обязателен в схеме индикатора на светодиоде? Почему?
16. Каким образом на экране осциллографа получают изображение функциональной зависимости двух напряжений?
17. Каким образом на экране осциллографа получается изображение периодической функции времени?

Работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА И ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Цель работы

Изучение характеристик, параметров и режимов работы биполярного транзистора и усилительного каскада с общим эмиттером (ОЭ).

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Транзисторы», «Функциональный генератор», «Миллиамперметры», «Мультиметры», двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля «Транзисторы» представлена на рис. 1. На ней приведена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы. Тумблер «Питание» предназначен для включения модуля «Транзисторы». О включенном состоянии модуля указывает световой индикатор, расположенный над тумблером. На мнемосхеме модуля изображены: биполярный транзистор $VT1$, потенциометр $RP1$ для изменения напряжения, подаваемого на базу, токоограничивающий резистор $R1$, резистор нагрузки $R2$, сопротивление которого изменяется переключателем $SA1$. Величины сопротивлений, соответствующие положениям переключателя, приведены в табл. 1.

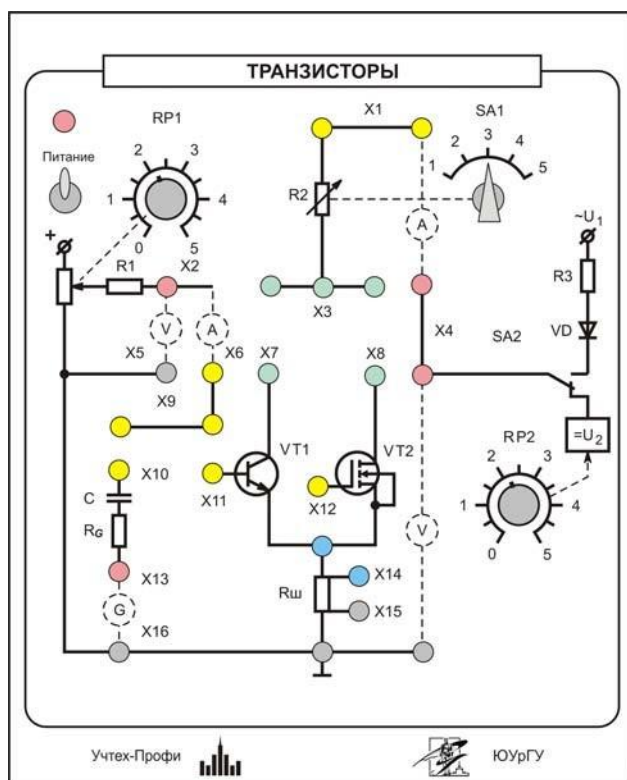


Рис. 1. Модуль транзисторов

Таблица 1

№ позиции	1	2	3	4	5
Сопротивление $R2$, кОм	1	1,2	1,5	1,8	2,4

Величина постоянного напряжения, подаваемого на коллектор, регулируется потенциометром $RP2$. Переключатель $SA2$ предназначен для включения переменного или постоянного напряжения. Для подачи на коллектор только положительных полуволн переменного напряжения служит диод VD . Ток в этой цепи ограничивает резистор $R3$. Резистор R_G имитирует внутреннее сопротивление источника входного сигнала. Конденсатор C исключает влияние внутреннего сопротивления источника входного сигнала на положение рабочей точки покоя. Шунт $R_{ш} = 50$ Ом служит для осциллографирования сигнала, пропорционального току через транзистор. На передней панели размещены также гнезда для осуществления внешних соединений ($X1 - X16$).

Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

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

б) начертить принципиальные схемы для снятия характеристик биполярного транзистора в соответствии с заданным подвариантом;

в) используя выходные вольтамперные характеристики транзистора (рис. 2), для заданного варианта построить две линии нагрузки (для заданного $R2$ и для $R2 = 0$, в последнем случае линия нагрузки параллельна оси тока I_K). В соответствии с

точками пересечений нагрузочных линий и выходных характеристик построить две характеристики прямой передачи по току $I_K = f(I_6)$ при $R2 = 0$ и при заданном $R2$. Определить область линейного усиления;

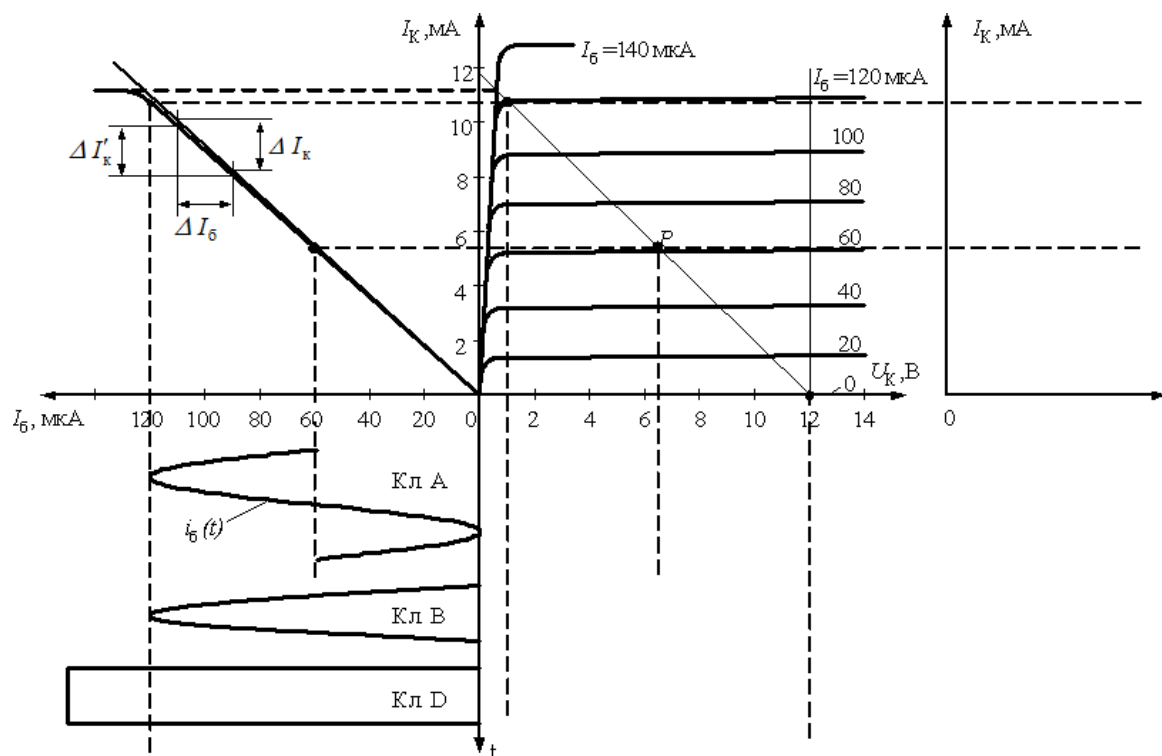


Рис. 2. Нагрузочная диаграмма для усилительного каскада на биполярном транзисторе

г) выбрать рабочую точку покоя для классов А, В, D; по характеристикам определить токи $I_{кр}$, $I_{бр}$ и напряжение $U_{кр}$ в рабочей точке покоя P ;

д) по заданным временным диаграммам переменной составляющей тока базы $i_b(t)$ (см. рис. 2) построить временные диаграммы тока коллектора $i_k(t)$ и напряжения $u_k(t)$. Для классов А и В определить максимальную амплитуду неискаженного синусоидального выходного сигнала, а для класса D максимальную амплитуду прямоугольных выходных импульсов.

2. Экспериментальное исследование характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ):

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

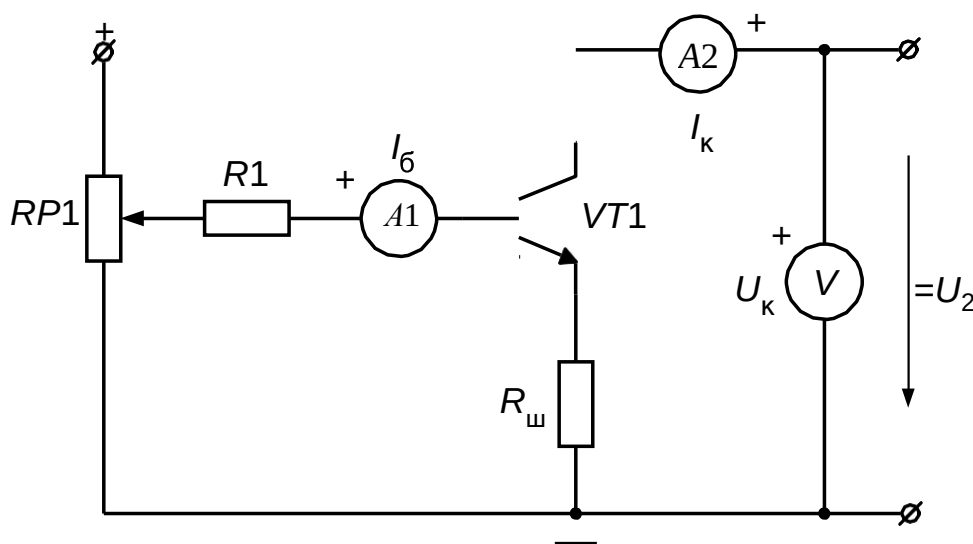


Рис. 3. Схема для снятия характеристик биполярного транзистора

Для этого между гнездами X2 – X6 включить многопредельный миллиамперметр A1 (модуль «Миллиамперметры») на пределе « $\times 1$ » (100 мкА) и соединить перемычкой гнезда X9 – X11. Установить потенциометр $RP1$ в крайнее левое положение. Между гнездами X1 – X4 включить второй миллиамперметр A2 (модуль «Миллиамперметры») на пределе « $\times 100$ » (10 мА). Соединить перемычкой гнезда X3 – X7. Включить вольтметр модуля измерительного между гнездами X4 – X16. Тумблер SA2 установить в нижнее положение. Между гнездами X1 – X3 поставить перемычку;

б) снять статическую характеристику прямой передачи по току $I_k = f(I_b)$ при

U_k равном заданному значению U_2 и $R2 = 0$, используя схему на рис. 3. Включить

тумблер «Питание». Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на нагрузочную диаграмму транзистора, построенную при предварительной подготовке (см. рис. 2). Изменяя ток базы от нуля до максимального значения при помощи потенциометра $RP1$, снять статическую характеристику прямой передачи по току. Если показания миллиамперметров A1 и

$A2$ выйдут за допустимые значения на установленных пределах, переключите измеряемые приборы на более высокий предел. Выключить тумблер «Питание»;

в) снять характеристику прямой передачи по току при наличии нагрузки $R2$. Схема для снятия характеристики представлена на рис. 4. При подготовке эксперимента необходимо убрать перемычку между гнездами $X1 - X3$, ручку потенциометра $RP1$ установить на «0». С помощью переключателя $SA1$ установите заданное значение резистора $R2$. Включить тумблер «Питание». При помощи потенциометра $RP2$ установить заданное значение U_2 . В дальнейшем ручку

регулировки $RP2$ не трогать. Изменяя ток базы от нуля до максимального значения при помощи потенциометра $RP1$, снять нагрузочную характеристику прямой передачи по току. Вблизи перехода в область насыщения точки снимать чаще. Выключить тумблер «Питание»;

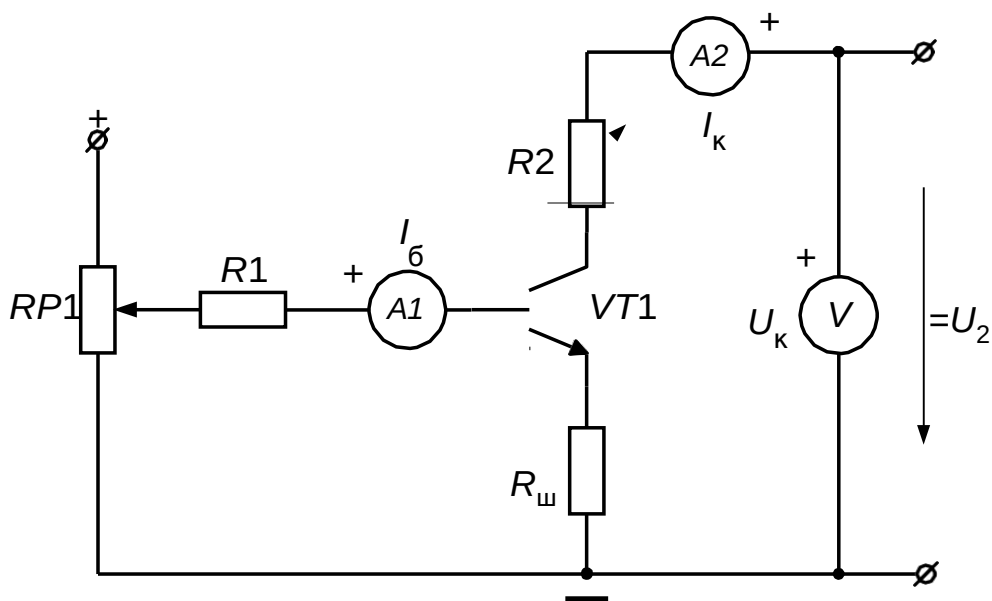


Рис. 4. Схема для снятия нагрузочной характеристики прямой передачи по току

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

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа, используя схему на рис. 5.

При подготовке эксперимента необходимо переключить тумблер $SA2$ в верхнее положение тем самым подключить к схеме источник полувольт напряжения. Соединить перемычкой гнезда $X1 - X3$. Подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы: вход канала $CH1 (X)$ – к гнезду $X3$, канала $CH2 (Y)$ – к гнезду $X14$, корпус осциллографа ($\perp$) – к гнезду $X15$. Перевести осциллограф в режим X/Y (кнопка меню «Дисплей», подменю «Формат»). Установить луч на экране осциллографа в левом нижнем углу. Установить потенциометр $RP1$ в крайнее левое положение. Включить питание модуля. Изменять ток базы от нуля до максимального значения, пронаблюдать семейство выходных характеристик; зарисовать на одном

рисунке выходные характеристики для трех значений тока базы: $I_{б1} = 0$, $I_{б2} = 0,5 \cdot I_{б.max}$ и $I_{б3} = I_{б.max}$. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

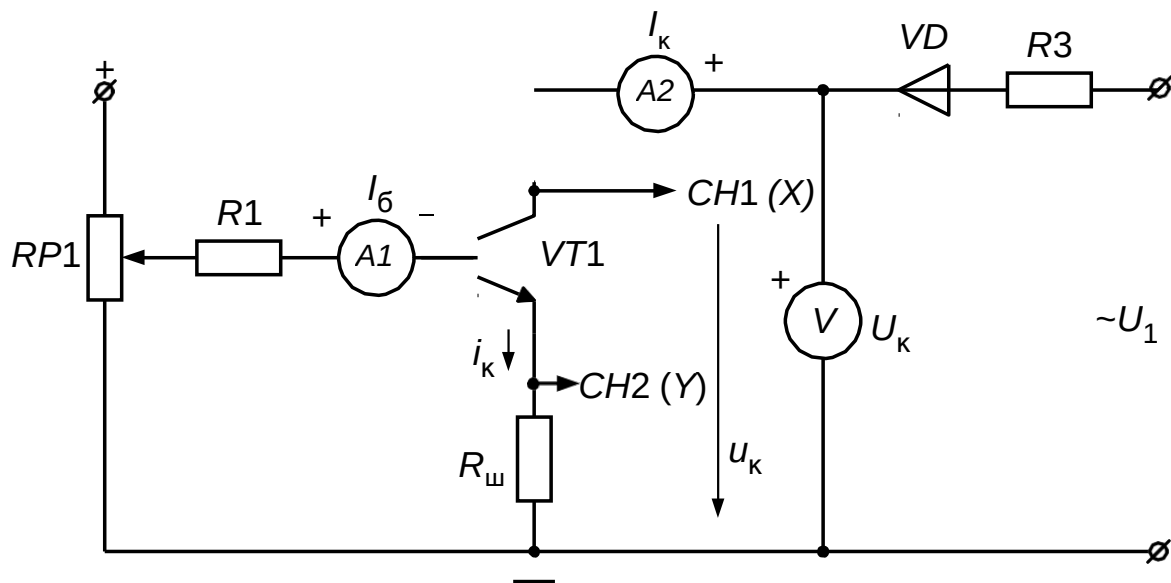


Рис. 5. Схема для снятия выходных статических ВАХ при помощи осциллографа

3. Экспериментальное исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером (ОЭ):

а) собрать схему для исследования усилительного каскада (рис. 6). Для этого необходимо разомкнуть гнезда X1 – X3. К гнезду X13 подключить напряжение с выхода функционального генератора, соединив землю генератора ($\perp$) с гнездом X16. Соединить перемычкой гнезда X9 – X10. Переключить тумблер SA2 в нижнее положение, тем самым, подключив к схеме источник постоянного напряжения U_2 .

Переключить осциллограф в режим временной развертки. Включить функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал с частотой f в соответствии с таблицей вариантов; уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды. Переключить вход CH1 осциллографа в положение вход закорочен «GND». Включить питание а. При токе $I_б = 0$ с помощью потенциометра RP2 (см. рис. 1) установить заданное значение U_2 и далее не изменять его при всех

экспериментах (не трогать ручку потенциометра RP2). Диод VD1 (см. рис. 6) не показан на мнемосхеме модуля (см. рис. 1), он предназначен для защиты базо-эмиттерного перехода транзистора от напряжения отрицательной полярности;

б) по снятой ранее характеристике прямой передачи по току при наличии нагрузки определить величины токов $I_{бр}$ и $I_{кр}$ для режима усиления класса А. По

выходным характеристикам определить $U_{кр}$;

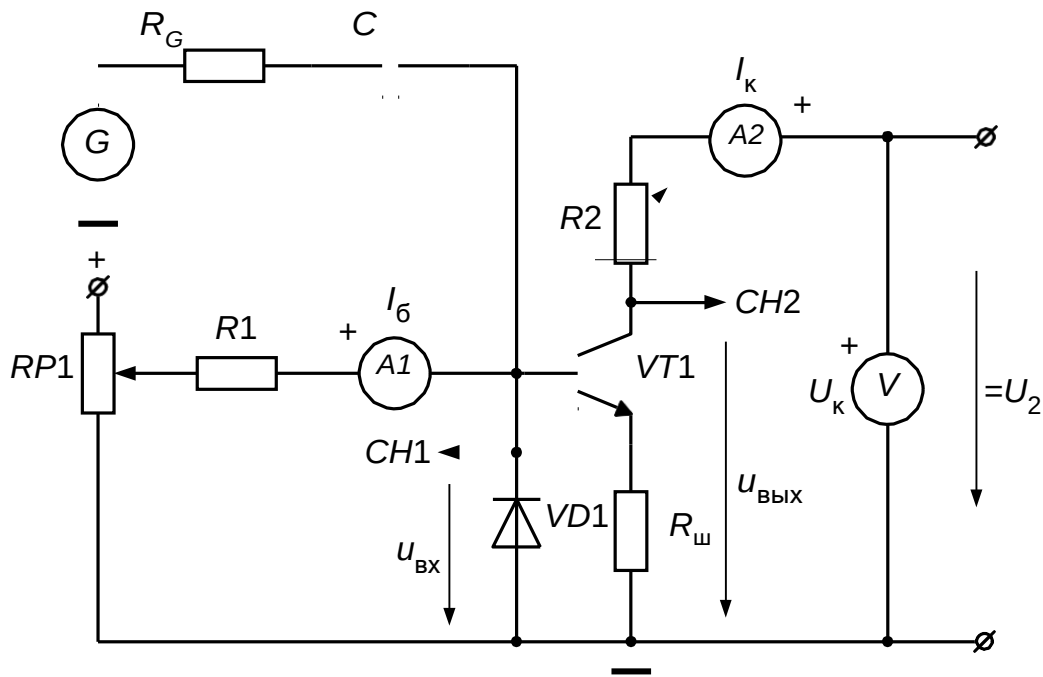


Рис. 6. Схема для исследования усилительного каскада

в) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{\text{ВЫХ.т}}$ и уточнить положение рабочей точки покоя. Для этого установите постоянный ток базы равным $I_{\text{бр}}$ и определите значения тока $I_{\text{кр}}$ и напряжения $U_{\text{кр}}$ (с помощью осциллографа). Плавно увеличивайте переменный входной сигнал ручкой регулятора амплитуды «Функционального генератора» 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. По осциллографу определите максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{\text{ВЫХ.т}}$.

Зарисовать 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. Определите значения $I_{\text{бр}}$, $I_{\text{кр}}$, $U_{\text{кр}}$ при $u_{\text{ВХ}} = 0$ (напряжение подаваемое от модуля «Функциональный генератор») и сравните с определенными в п. 3 б;

г) исследовать экспериментально влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного напряжения. Для этого установите вновь рабочую точку $I_{\text{бр}}$, $I_{\text{кр}}$, $U_{\text{кр}}$ и максимальную амплитуду синусоидального неискаженного выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ.т}}$. Зарисовать кривые выходного напряжения при изменении

постоянной составляющей тока базы $I'_6 = 0,5 \cdot I_{бр}$ и $I'_6 = 1,5 \cdot I_{бр}$, при этом переменный входной сигнал изменять не следует;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению k_u в классе А. Для этого установить $I_6 = I_{6p}$, раскоротить вход $CH1$ осциллографа, переключив его на открытый вход «АС». Изменяя переменный входной сигнал, добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью осциллографа амплитуды выходного $U_{\text{вых.т}}$ и входного $U_{\text{вх.т}}$ сигналов, учесть масштабы осциллографа по обоим каналам. Определить коэффициент усиления усилителя $k_u = U_{\text{вых.т}} / U_{\text{вх.т}}$;

е) определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе В. Для этого с помощью потенциометра $RP1$ установить $I_6 = 0$ и, регулируя амплитуду входного сигнала, добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоидального выходного напряжения; зарисовать и обработать осциллограмму. Если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром $RP1$ постоянный ток I_6 и, изменяя переменный входной сигнал, добейтесь воспроизведения усилителем примерно половины неискаженного синусоидального напряжения с максимальной амплитудой. Уменьшите входной сигнал (подаваемый от модуля «Функциональный генератор») до нуля и запишите ток I_6 , который пришлось установить в рабочей точке покоя, чтобы не было искажений. Эта рабочая точка покоя соответствует классу АВ;

ж) исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Установите $I_6 = 0$ и увеличьте входное синусоидальное напряжение регулятором амплитуды «Функционального генератора» до перехода транзистора в ключевой режим. Зарисуйте и обработайте осциллограмму выходного напряжения;

з) определите ток коллектора и напряжение на коллекторе на постоянном токе в двух точках: отсечки и насыщения. Для этого установите амплитуду входного синусоидального сигнала равной нулю. Для измерения напряжения на коллекторе переключите вольтметр, подключенный между гнездами $X4 - X16$, к гнездам $X3 - X16$. При помощи потенциометра $RP1$ установите ток базы $I_6 = 0$, замерьте ток $I_{\text{ко}}$ и напряжение $U_{\text{ко}}$, соответствующие точке отсечки транзистора. Для измерения тока коллектора и напряжения на коллекторе, соответствующие точке насыщения, установите потенциометр $RP1$ в крайне правое положение и по приборам определите ток $I_{\text{кн}}$ и напряжение $U_{\text{кн}}$. Выключите питание модуля.

Внимание. С целью получения достоверного результата при измерении напряжения на коллекторе транзистора рекомендуется использовать вольтметр с высоким входным сопротивлением из модуля «Мультиметры».

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов (заданного подварианта) в соответствии с мнемосхемой на рис. 1;
- в) результаты экспериментальных исследований: таблицы, экспериментально снятые и построенные характеристики, обработанные осциллограммы;

г) при оформлении отчета определить и рассчитать:

– коэффициент передачи транзистора по току $\beta = \Delta I_k / \Delta I_b$ и коэффициент усиления каскада по току $k_i = \Delta I'_k / \Delta I_b$, используя экспериментальную

статическую и нагрузочную характеристики прямой передачи по току. Расчет проводить вблизи рабочей точки покоя в классе А (см. рис. 2);

– дифференциальное сопротивление транзистора $r_d = \Delta U_k / \Delta I_k$ при $I_b = \text{const}$ с

использованием выходных статических ВАХ транзистора;

– рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{кр} = U_{кр} \cdot I_{кр}$), в режиме насыщения ($P_{кн} = U_{кн} \cdot I_{кн}$) и отсечки ($P_{ко} = U_{ко} \cdot I_{ко}$) для класса D, а также средние потери в ключевом режиме при относительной длительности импульса 0,5 ($P_{ксп} = (P_{кн} + P_{ко}) / 2$), воспользовавшись экспериментальными данными;

д) сделать выводы по работе:

– о результатах сравнения расчетных и экспериментальных значений неискаженного напряжения;

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

– охарактеризовать влияние выбора рабочей точки покоя на форму выходного напряжения (п. 3 г);

– сравнить потери в классе А и в ключевом режиме. Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены при работе.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия биполярного транзистора?
2. Какие существуют схемы включения биполярных 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. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?
10. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим эмиттером.
11. Каково назначение элементов усилителя?
12. Как определить коэффициент усиления каскада по току и напряжению (графически и экспериментально)?
13. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?

14. Что такое ключевой режим?
15. Каковы преимущества ключевого режима?
16. Как определить ток коллектора и напряжение на коллекторе транзистора в точках отсечки и насыщения на постоянном токе?

Работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА И ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Цель работы

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

Описание лабораторной установки

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Транзисторы», «Функциональный генератор», «Миллиамперметры», «Мультиметры» двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля «Транзисторы» представлена на рис. 1. На ней приведена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы. Тумблер «Питание» предназначен для включения модуля «Транзисторы». О включенном состоянии модуля указывает световой индикатор, расположенный над тумблером. На мнемосхеме модуля изображены: полевой транзистор VT2 с изолированным затвором и индуцированным каналом п-типа, потенциометр RP1 для изменения напряжения, подаваемого на затвор, токоограничивающий резистор R1, не оказывающий практически никакого влияния на работу полевого транзистора, резистор нагрузки R2, сопротивление которого изменяется переключателем SA1. Величины сопротивлений, соответствующие положениям переключателя, приведены в табл. 1.

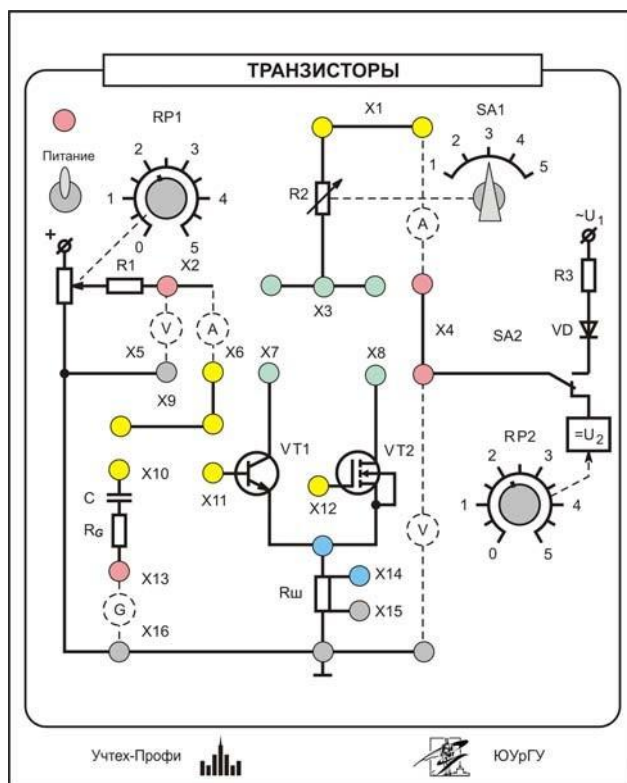


Рис. 1. Модуль транзисторов.

Таблица 1

№ позиции	1	2	3	4	5
Сопротивление R_2 , кОм	1	1,2	1,5	1,8	2,4

Величина постоянного напряжения, подаваемого на сток транзистора, регулируется потенциометром $RP2$. Переключатель $SA2$ предназначен для включения переменного или постоянного напряжения. Для подачи на сток только положительных полувольт переменного напряжения служит диод VD . Ток в этой цепи ограничивает резистор R_3 . Резистор R_G имитирует внутреннее сопротивление

источника входного сигнала. Конденсатор C исключает влияние внутреннего сопротивления источника входного сигнала на положение рабочей точки покоя.

Шунт $R_{ш} = 50$ Ом служит для осциллографирования сигнала, пропорционального

току через транзистор. На передней панели размещены также гнезда для осуществления внешних соединений ($X1 - X16$).

Задание и методические указания

1. 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;

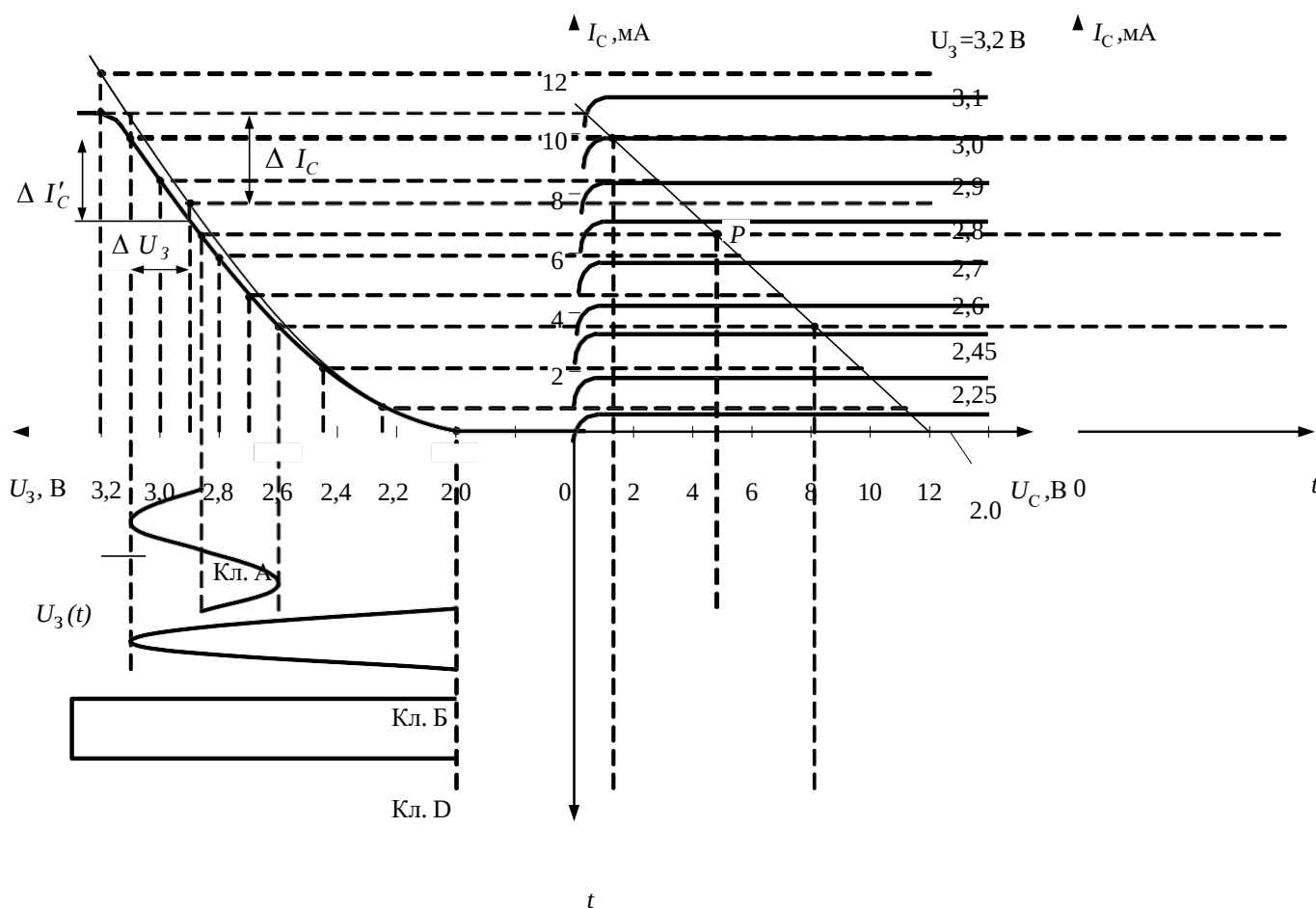


Рис. 2. Нагрузочная диаграмма для усилительного каскада на полевом транзисторе

в) используя выходные вольтамперные характеристики транзистора (рис. 2), для заданного варианта построить две линии нагрузки (для заданного R_2 и для $R_2 = 0$, в последнем случае линия нагрузки параллельна оси тока стока I_c). В соответствии с

точками пересечений нагрузочных линий и выходных характеристик построить две стокзатворные характеристик $I_c = f(U_3)$ при $R_2 = 0$ и при заданном R_2 .

Определить область линейного усиления;

г) выбрать рабочую точку покоя для классов А, В, D; по характеристикам определить токи I_{cp} , $U_{зр}$ и напряжение $U_{ср}$ в рабочей точке покоя;

д) по заданным временным диаграммам переменной составляющей напряжения на затворе $u_3(t)$ (см. рис. 2) построить временные диаграммы тока стока $i_c(t)$ и

напряжения на стоке $u_c(t)$. Для классов А и В определить максимальную амплитуду

неискаженного синусоидального выходного сигнала, а для класса D максимальную амплитуду прямоугольных выходных импульсов.

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

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

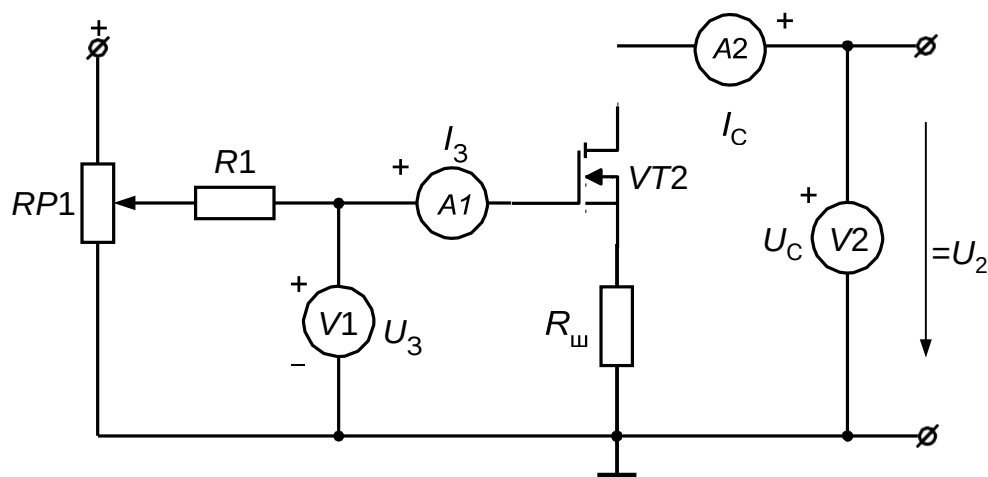


Рис. 3. Схема для снятия характеристик полевого транзистора

Для этого между гнездами X2 – X6 включить многопредельный миллиамперметр А1 (модуль «Миллиамперметры») на пределе « $\times 1$ » (100 мкА) и соединить перемычкой гнезда X9 – X12. Установить потенциометр RP1 в крайнее левое положение. Между гнездами X1 – X4 включить второй миллиамперметр А2 (модуль «Миллиамперметры») на пределе « $\times 100$ » (10 мА). Соединить перемычкой гнезда X3 – X8. Включить вольтметры V1, V2 («Модуль измерительный») между гнездами X2 – X5 и X4 – X16. Тумблер SA2 установить в нижнее положение. Между гнездами X1 – X3 поставить перемычку;

б) снять стокзатворную характеристику $I_c = f(U_3)$ при напряжении на стоке U_c

равном заданному значению U_2 и $R_2 = 0$, используя схему на рис. 3.

Экспериментальные точки здесь и далее записывать в таблицу и наносить на график, построенный при предварительной подготовке. Изменяя напряжение на затворе от нуля до максимального значения при помощи потенциометра *RP1*, снять

стокзатворную характеристику при отсутствии нагрузки. При снятии характеристики убедитесь, что ток затвора I_3 мал (составляет несколько мкА). На

начальном участке характеристики точки снимать чаще;

в) снять стокзатворную характеристику при наличии нагрузки R_2 . Схема для снятия характеристики представлена на рис. 4.

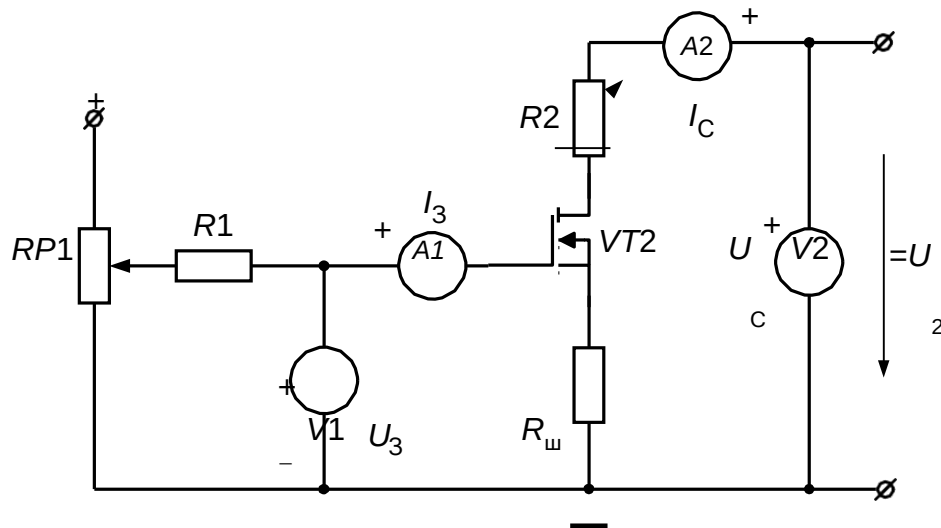


Рис. 4. Схема для снятия стокзатворной характеристики при наличии нагрузки

При подготовке эксперимента необходимо убрать перемычку между гнездами $X1$ – $X3$. Ручку потенциометра $RP1$ установить на «0». С помощью переключателя $SA1$ установите заданное значение резистора R_2 , 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 $U_{з, \max}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

д) снять выходные статические ВАХ с помощью осциллографа, используя схему на рис. 5.

При подготовке эксперимента необходимо переключить тумблер $SA2$ в верхнее положение тем самым подключить к схеме источник полувольт напряжения. Соединить перемычкой гнезда $X1$ – $X3$. Подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы: вход канала $CH1$ (X) – к гнезду $X3$, канала $CH2$ (Y) – к гнезду $X14$, корпус осциллографа ($\perp$) – к гнезду $X15$. Перевести осциллограф в режим X/Y (кнопка меню «Дисплей», подменю «Формат»). Установить луч 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: $U_{з(1)} = 2 \text{ В}$, $U_{з(2)} = 0,5 \cdot (U_{з(1)} + U_{з.\max})$ и $U_{з(3)} = U_{з.\max}$. Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

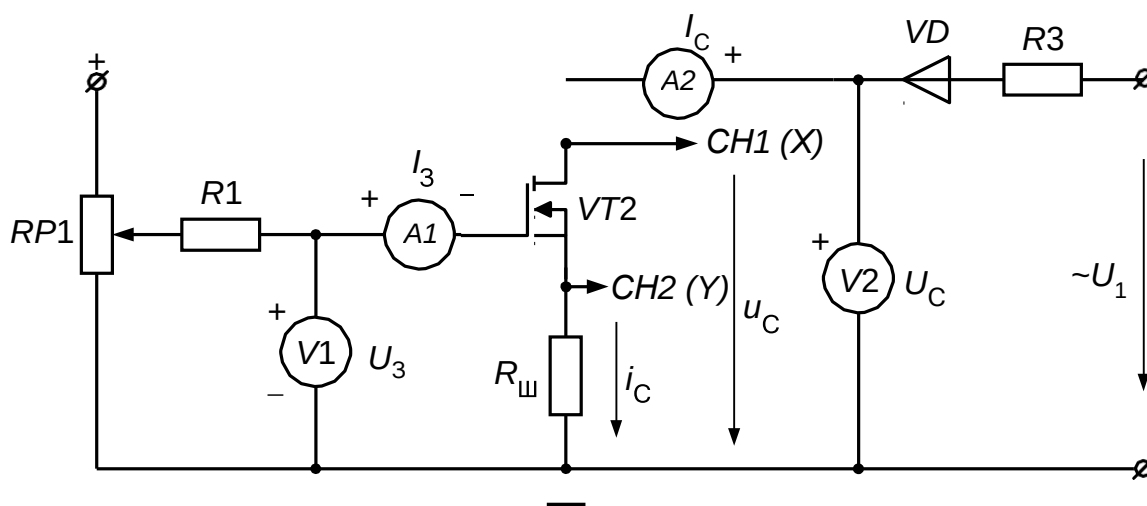


Рис. 5. Схема для снятия выходных статических ВАХ при помощи осциллографа

3. Экспериментальное исследование усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком (ОИ):

а) собрать схему для исследования усилительного каскада (рис. 6). Для этого необходимо разомкнуть гнезда X1 – X3. К гнезду X13 подключить напряжение с выхода функционального генератора, соединив землю генератора ($\perp$) с гнездом X16. Соединить перемычкой гнезда X9 – X10. Переключить тумблер SA2 в нижнее положение, тем самым, подключив к схеме источник постоянного напряжения U_2 .

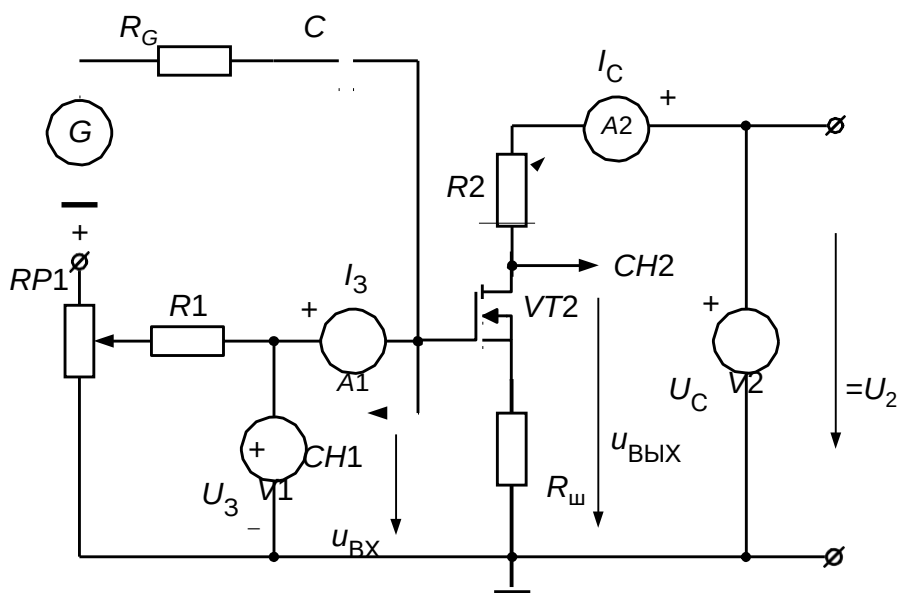


Рис. 6. Схема для исследования усилительного каскада

Подключить канал CH1 осциллографа к входу усилителя (гнездо X9), а канал CH2 к выходу усилителя (гнезда X3 – X15). Переключить осциллограф в режим временной развертки. Включить функциональный генератор и установить синусоидальный сигнал с частотой f в соответствии с таблицей вариантов; уменьшить сигнал до нуля регулятором амплитуды. Переключить вход CH1

осциллографа в положение вход закорочен «GND». Включить питание а. При напряжении $U_3 = 0$ установить с помощью потенциометра $RP2$ (см. рис. 1) заданное значение « $=U_2$ » и далее не изменять его при всех экспериментах (не трогать ручку потенциометра $RP2$);

б) по снятой ранее стокзатворной характеристике при наличии нагрузки определить рабочую точку покоя для режима усиления класса А (напряжение на затворе $U_{зр}$ и ток стока $I_{ср}$), по выходным характеристикам определить $U_{ср}$;

в) определить экспериментально максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{\text{вых.т}}$ и уточнить положение рабочей точки покоя. Для этого установите постоянное напряжение на затворе $U_{зр}$ и определите значения тока $I_{ср}$ и напряжения $U_{ср}$ (с помощью осциллографа). Плавно

увеличивайте переменный входной сигнал ручкой регулятора амплитуды модуля «Функциональный генератор» 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. По осциллографу определите максимальную амплитуду неискаженного выходного синусоидального напряжения $U_{\text{вых.т}}$.

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. Определите значения $U_{зр}$, $I_{ср}$, $U_{ср}$ при $u_{\text{вх}} = 0$ и сравните с определенными в п. 3 б;

г) исследовать экспериментально влияние положения рабочей точки покоя на форму выходного напряжения. Для этого установите вновь рабочую точку покоя для класса А $U_{зр}$, $I_{ср}$, $U_{ср}$ и максимальную амплитуду синусоидального неискаженного

выходного напряжения $U_{\text{вых.т}}$. Зарисовать кривые выходного напряжения при

изменении постоянной составляющей напряжения на затворе $U'_3 = 0,5 \cdot (U_{з(1)} + U_{зр})$

и $U'_3 = 0,6 \cdot (U_{з(1)} + U_{зр})$, при этом переменный входной сигнал изменять не следует;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению k_u в классе А. Для этого установить $U_3 = U_{зр}$, раскоротить вход $CH1$ осциллографа, переключив его на открытый вход «АС». Изменяя переменный входной сигнал, добиться синусоидального по форме максимального выходного сигнала. Измерить с помощью осциллографа амплитуду выходного $U_{\text{вых.т}}$ и входного $U_{\text{вх.т}}$ сигналов, учесть

масштабы осциллографа по обоим каналам. Определить коэффициент усиления усилителя $k_u = U_{\text{вых.}m} / U_{\text{вх.}m}$;

е) определить амплитуду выходного напряжения (полуволны) в классе В. Для этого с помощью потенциометра *RP1* установить $U_3 = 2 \text{ В}$ и, регулируя амплитуду

входного сигнала, добиться максимальной неуплощенной полуволны синусоидального выходного напряжения, зарисовать и обработать осциллограмму.

Если длительность полуволны меньше полупериода, повысьте потенциометром $RP1$ постоянное напряжение U_3 и, изменяя переменный входной сигнал, добейтесь

воспроизведения усилителем ровно половины неискаженного синусоидального напряжения с максимальной амплитудой. Уменьшите входной сигнал до нуля и запишите напряжение U_3 , которое пришлось установить в рабочей точке покоя,

чтобы не было искажений. Эта рабочая точка покоя соответствует классу АВ;

ж) исследовать работу транзистора в ключевом режиме (класс D). Установите $U_3 = 2\text{ В}$ и увеличьте входное синусоидальное напряжение регулятором амплитуды

«Функционального генератора» до перехода транзистора в ключевой режим. Зарисуйте и обработайте осциллограмму выходного напряжения;

з) определите ток стока и напряжение стока на постоянном токе в двух точках: отсечки и насыщения. Для этого установите амплитуду входного синусоидального сигнала равным нулю, переключите вольтметр, подключенный между гнездами $X4 - X16$, к гнезду $X3 - X16$. При помощи потенциометра $RP1$ установите напряжение на затворе $U_3 = 2\text{ В}$, замерьте ток I_{co} и напряжение на стоке U_{co} , соответствующие

точке отсечки транзистора. Для измерения тока стока и напряжения на стоке, соответствующие точки насыщения, установите потенциометр $RP1$ в крайне правое положение, по приборам определите ток I_{cn} и напряжение U_{cn} . Выключить питание модуля.

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- а) наименование и цель работы;
- б) 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 $S = \Delta I_c \mid \Delta U_3$ и при наличии нагрузки $S' = \Delta I_c' \mid \Delta U_3$. Расчет проводить на линейном участке стокзатворной характеристики (см. рис. 2);

- дифференциальное сопротивление транзистора $r_d = \Delta U_c \mid \Delta I_c$ при $U_3 = \text{const}$ с

использованием выходных статических ВАХ транзистора.

д) Рассчитать потери в транзисторе в рабочей точке покоя в классе А ($P_{cp} = U_{cp} \cdot I_{cp}$), в режиме насыщения ($P_{cn} = U_{cn} \cdot I_{cn}$) и отсечки ($P_{co} = U_{co} \cdot I_{co}$) для класса D, а также средние потери в ключевом режиме при относительной длительности импульса 0,5 ($P_{c,cp} = (P_{cn} + P_{co}) \mid 2$), воспользовавшись экспериментальными данными;

е) 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;

- охарактеризовать влияние выбора рабочей точки покоя на форму выходного напряжения (п. 3 г);
- сравнить потери в классе А и в ключевом режиме. Указать, какие потери в ключевом режиме не учтены.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором?
2. Как выглядят выходные и стокозатворные статические характеристики в схеме с общим истоком?
3. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к полемому транзистору с изолированным затвором и каналом *n*-типа, в усилительном каскаде с общим истоком?
4. Что такое статическая стокозатворная характеристика? Как ее построить? Как она видоизменяется при наличии нагрузки? Как ее снять?
5. Можно ли в лабораторной работе снять стокозатворную характеристику полевого транзистора при помощи осциллографа?
6. Как определить крутизну стокозатворной характеристики?
7. Как снять статические выходные характеристики?
8. Как построить линию нагрузки?
9. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?
10. Каково назначение элементов усилителя?
11. Как определить коэффициент усиления каскада по напряжению (графически и экспериментально)?
12. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
13. Что такое ключевой режим?
14. Каковы преимущества ключевого режима?
15. Как определить ток стока и напряжение на стоке транзистора в точках отсечки и насыщения на постоянном токе?

Работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ, СИМИСТОРОВ, ЗАПИРАЕМЫХ ТИРИСТОРОВ, УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы

Изучение характеристик и параметров тиристоров – обычных (асимметричных), симметричных и запираемых. Ознакомление с применением этих приборов в качестве управляемых выпрямителей и преобразователей переменного напряжения.

Описание лабораторной установки

В лабораторной работе используются следующие модули: «Тиристоры», «Миллиамперметры», «Мультиметры». Для проведения лабораторной работы необходим двухканальный осциллограф.

Лицевая панель модуля тиристоров представлена на рис. 1.

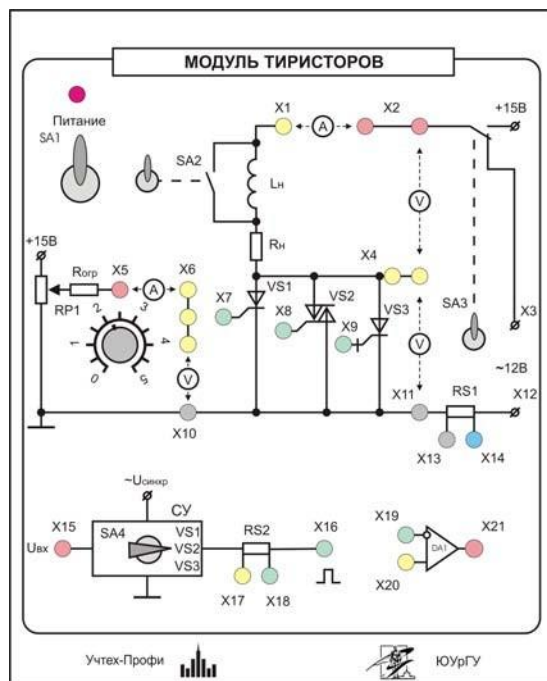


Рис. 1. Модуль тиристоров.

На ней приведена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы. На мнемосхеме изображены: тиристор VS1, симметричный тиристор (симистор) VS2, запираемый тиристор VS3, активное и индуктивное сопротивления нагрузки ($R_H = 150 \text{ Ом}$ и $L_H = 70 \text{ мГн}$). Потенциометр RP1 служит для изменения напряжения в цепи управления. Ток управления тиристором ограничен резистором $R_{огр} = 8,2 \text{ кОм}$. Система управления (СУ) формирует управляющие импульсы, сдвигаемые по фазе при изменении входного управляющего напряжения $U_{ВХ} = 0...15 \text{ В}$. Шунт RS1 = 10 Ом служит для осциллографирования сигнала, пропорционального току через тиристор, а RS2 = 10 Ом для осциллографирования тока управления. Усилитель DA1 позволяет усиливать сигнал тока, снимаемый с

шунта $RS1$. Также на передней панели размещены гнезда для осуществления внешних соединений $X1 - X21$, переключатель вида нагрузки $SA1$ (активной – положение вверх или активно-индуктивной – положение вниз) и переключатель каналов подачи управляющих импульсов на соответствующие тиристоры SA .

Переключатель $SA2$ подает на схему либо постоянное (+15 В), либо переменное (~12 В) напряжение.

Подача питания выполняется при включении сетевого выключателя, установленного на модуле.

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) начертить принципиальные схемы для выполнения экспериментов в соответствии с заданным подвариантом;

в) начертить диаграмму управления тиристора в соответствии с рис. 2. Для заданных по варианту E_y и $R_{огр}$ построить линию нагрузки, проверить, находится ли она в разрешенной области. Определить, в каких пределах можно изменять $R_{огр}$ при заданном по варианту E_y ;

г) построить в масштабе временные диаграммы переменного синусоидального напряжения $u = \sim 12$ В, выпрямленного напряжения (или напряжения на нагрузке) u_n ,

анодного тока i_a и напряжения на вентиле u_a для заданных углов

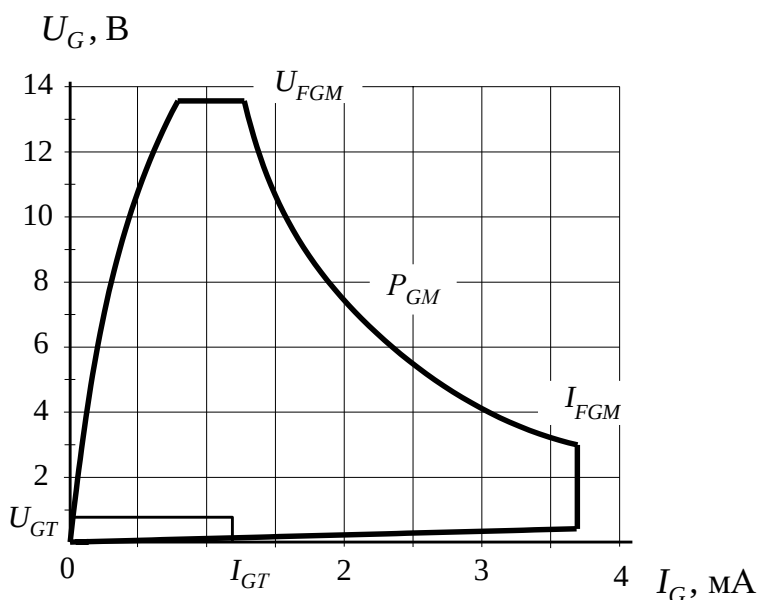


Рис. 2. Диаграмма управления тиристора

управления α ; диаграммы построить для управляемого выпрямителя на обычном и запираемом тиристоре, а также для преобразователя переменного напряжения на симисторе.

2. Экспериментальное исследование тиристора:

а) собрать схему в соответствии с рис. 3 для исследования тиристора на постоянном токе. Замкнуть перемычкой гнезда $X6 - X7$. Переключить тумблеры $SA1$, $SA2$ в верхнее положение. Для измерения тока управления I_G и анодного тока I_a включить многопредельные миллиамперметры $A1$ на пределе «10 мА», а $A2$ на пределе «100 мА» соответственно между гнездами $X5 - X6$ и $X1 - X2$. Для измерения

напряжения на вентиле U_a и напряжения управления U_G включить вольтметры между гнездами $X4 - X11$ и $X6 - X10$ соответственно. Включить питание модуля;

б) определить отпирающий постоянный ток управления I_{GT} и отпирающее постоянное напряжение управления U_{GT} , при которых происходит включение тиристора, если на аноде постоянное напряжение $+15\text{ В}$. Для этого плавно вращать ручку потенциометра $RP1$, увеличивая ток управления I_G , зафиксировать, при каком значении тока управления I_{GT} и напряжения управления U_{GT} включится тиристор. О включении тиристора судить по резкому уменьшению напряжения на аноде U_a и увеличению анодного тока I_a . Нанести найденные значения тока и напряжения управления на диаграмму управления;

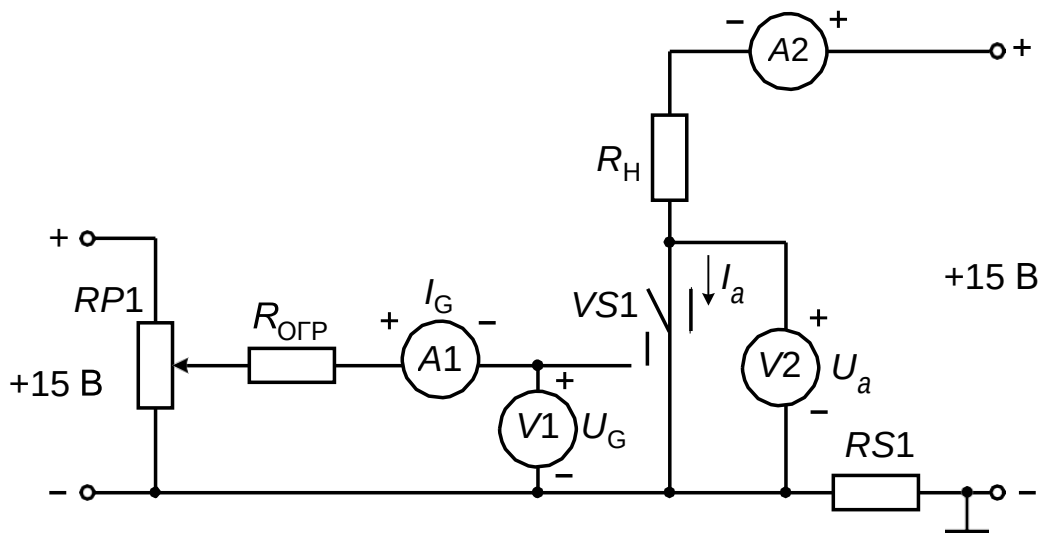


Рис. 3. Схема для исследования тиристора на постоянном токе

в) исследовать возможность выключения тиристора по цепи управления и по анодной цепи. Для этого, включив тиристор, уменьшать до нуля ток управления I_G . 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 нанести на диаграмму управления входную характеристику тиристора $U_G = f(I_G)$ (при разорванной анодной цепи). Проверить, входит ли она в область существования входных характеристик;

д) собрать схему для исследования тиристора на переменном токе для получения анодной ВАХ тиристора на экране осциллографа (рис. 4). Для этого переключить тумблер $SA2$ в нижнее положение. Подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы: вход канала $CH1$ (X) – к гнезду $X4$ (анодное напряжение тиристора u_a), канал $CH2$ (Y) – к гнезду $X13$ (анодный ток i_a), а корпус осциллографа ($\perp$) присоединить к гнезду $X14$. Перевести осциллограф в режим X/Y (кнопка меню «Дисплей», подменю «Формат»). Зарисовать ВАХ тиристора при двух значениях тока управления I_G , определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание модуля;

е) определить по осциллограммам максимальное напряжение между анодом и катодом $U_{a \max}$ в открытом состоянии при максимальном анодном токе $I_{a \max}$, пороговое напряжение $U_{T(T0)}$ и дифференциальное сопротивление r_T .

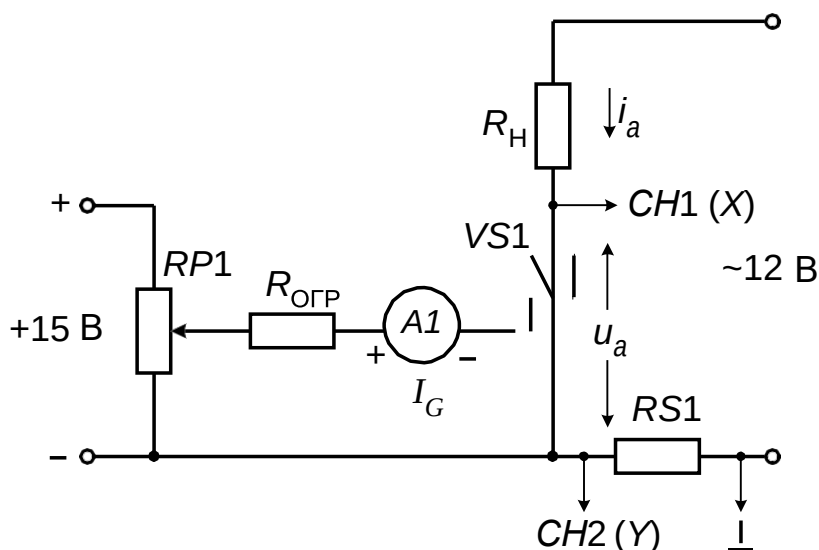


Рис. 4. Схема для исследования тиристора на переменном токе

3. Экспериментальное исследование однополупериодного выпрямителя на тиристоре:

а) используя схему, приведенную на рис. 4, оценить качество регулирования угла управления за счет изменения постоянного тока управления I_G . Для этого подключить вход CH2 осциллографа к гнезду X4, а корпус ($\perp$) – к гнезду X11 (напряжение на тиристоре u_a). Переключатель развертки осциллографа перевести на временную развертку. Установить синхронизацию от сети. Переключить тумблер SA1 в верхнее положение, замкнув индуктивность нагрузки L_H . Включить питание модуля, попробовать регулировать угол управления, изменяя ток управляющего электрода I_G . Определить максимальный угол управления согласно выражению

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{дел.}}}{T_{\text{дел.}}} 360, \text{ град.} \quad (1)$$

Здесь α – угол управления тиристора (град);

$\alpha_{\text{дел.}}$ – угол управления на экране в делениях;

$T_{\text{дел.}}$ – длительность периода на экране в делениях.

Оценить качество регулирования угла управления за счет изменения тока управления. Выключить питание модуля;

б) исследование однополупериодного выпрямителя с импульсно-фазовым управлением. Для этого на управляющий электрод подать импульсы от системы управления (СУ), соединив перемычками гнезда X6 – X15 и X7 – X16 (рис. 5). Переключатель SA3 установить в верхнее положение соответствующее «VS1». Подключить вольтметр между гнездами X2 – X4 (напряжение на нагрузке) и канал осциллографа CH2 – к гнезду X4, а корпус ($\perp$) – к гнезду X11 (напряжение на тиристоре u_a). Включить питание модуля;

в) вращая ручку потенциометра $RP1$, определить диапазон регулирования угла управления по осциллограмме напряжения на тиристоре u_a . Характер изменения среднего выпрямленного напряжения на нагрузке отследить по шкале вольтметра. Сравнить возможности регулирования с помощью импульсов и от постоянного тока;

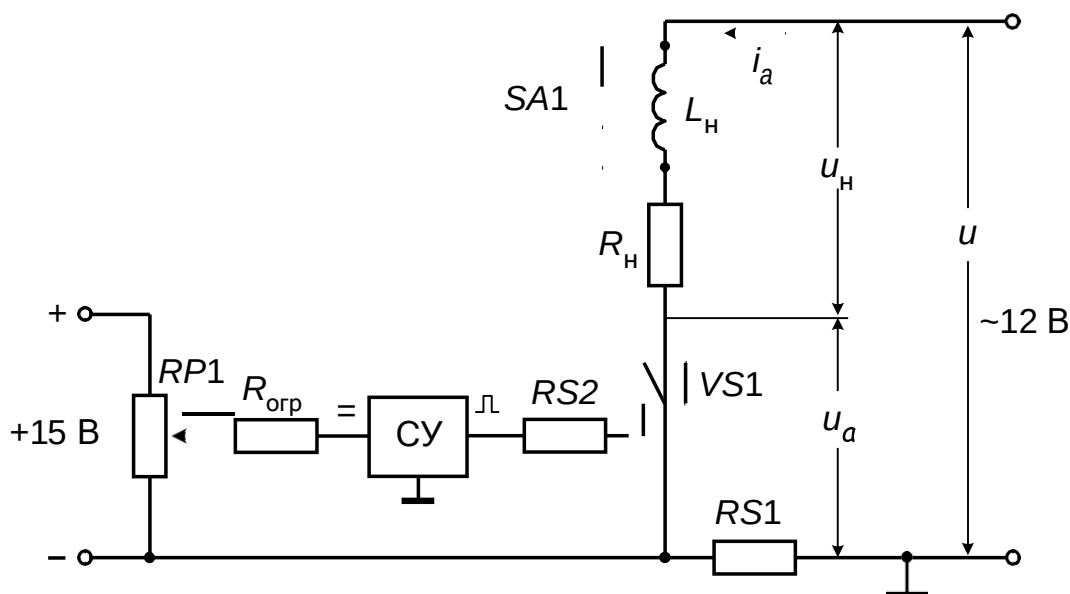


Рис. 5. Схема для исследования однополупериодного управляемого выпрямителя

г) при активной нагрузке и заданном угле управления снять осциллограммы напряжения на тиристоре u_a (вход $CH1$ осциллографа подключить к гнезду $X4$) и анодного тока i_a (снимается с шунта $RS1$ – вход $CH2$ осциллографа подключить к гнезду $X13$, а корпус ($\perp$) – к гнезду $X14$). Заданный угол управления на экране осциллографа установить согласно выражению (1). Снять отдельно осциллограмму напряжения на нагрузке u_H (вход $CH2$ осциллографа подключить к гнезду $X2$, а корпус ($\perp$) – к гнезду $X4$), а затем переменного напряжения u , подаваемого на тиристор (вход $CH2$ осциллографа подключить к гнезду $X2$, а корпус ($\perp$) – к гнезду $X14$). Вход $CH1$ осциллографа временно отключить от модуля;

д) переключить тумблер $SA1$ в нижнее положение, разомкнув индуктивность нагрузки L_H . Снять те же осциллограммы (п. 3 г) при заданном по варианту угле управления и активно-индуктивной нагрузке. Выключить питание модуля. Сравнить осциллограммы.

4. Экспериментальное исследование однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе:

а) собрать схему преобразователя рис. 6. Для этого подать на управляющий электрод импульсы от системы управления $СУ$, предварительно установив переключатель $SA3$ в среднее положение « $VS2$ »; соединить гнезда $X8 - X16$ и $X6 - X15$. Подключить вход $CH2$ осциллографа к гнезду $X4$, а корпус ($\perp$) – к $X11$ (напряжение на симисторе u_a). Переключить тумблер $SA1$ в верхнее положение, замкнув индуктивность нагрузки L_H . Включить питание модуля;

б) изучить влияние угла управления на напряжение на нагрузке (u_H) и определить возможный диапазон изменения угла управления;

в) снять осциллограммы переменного напряжения u , подаваемого на симистор, напряжения на нагрузке u_H , на симисторе u_a и анодного тока i_a при активной нагрузке и заданном угле управления по аналогии с п. 3 г.

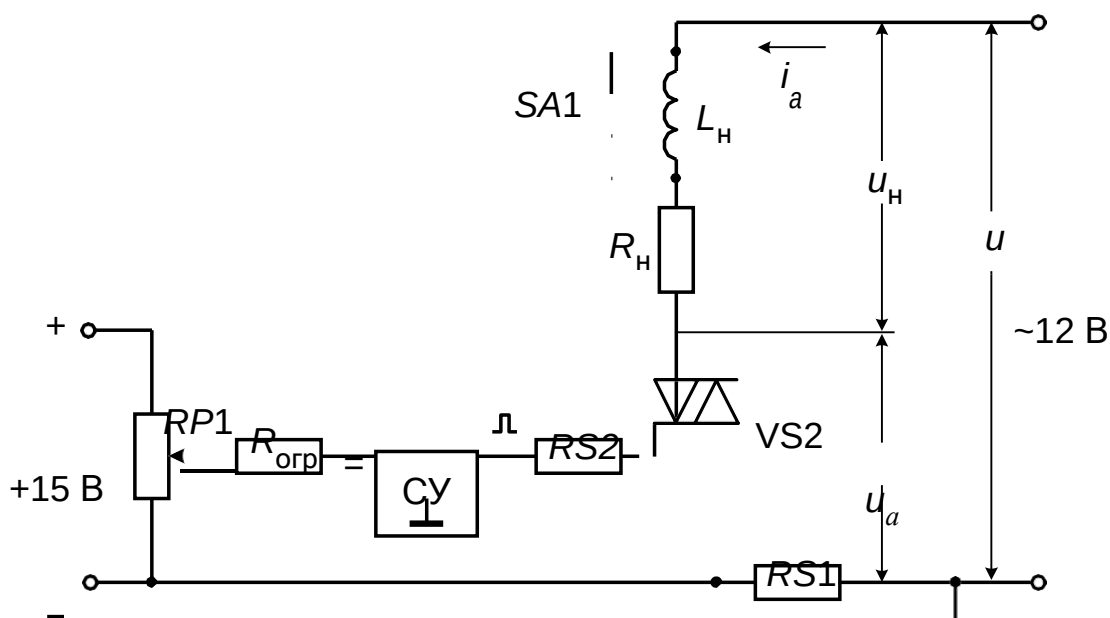


Рис. 6. Схема для исследования однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

г) используя схему, приведенную на рис. 6, снять анодную ВАХ симистора при подачи импульсов от системы управления. Для этого подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы: вход канала CH1 (X) – к гнезду X4 (напряжение на симисторе u_a), канал CH2 (Y) – к гнезду X13 (анодный ток i_a), а корпус осциллографа ($\perp$) присоединить к гнезду X14. Перевести осциллограф в режим X/Y (кнопка меню «Дисплей», подменю «Формат»). Зарисовать ВАХ симистора при угле управления, взятом из таблицы вариантов. Определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание модуля.

5. Экспериментальное исследование однополупериодного выпрямителя на запираемом тиристоре:

а) собрать схему выпрямителя рис. 7. Для этого подать на управляющий электрод импульсы от системы управления СУ, переключив переключатель SA3 в положение «VS3», соединить гнезда X9 – X16 и X6 – X15. Подключить вход CH2 осциллографа к гнезду X4, а корпус ($\perp$) – к X11 (напряжение на тиристоре u_a). Переключить тумблер SA1 в верхнее положение, замкнув индуктивность нагрузки L_H . Включить питание модуля;

б) вращая ручку потенциометра RP1, определить возможный диапазон изменения угла управления по осциллограмме напряжения на тиристоре u_a ;

в) снять осциллограммы переменного напряжения u , подаваемого на запираемый тиристор, напряжения на нагрузке u_H , на тиристоре u_a и анодного тока i_a при активной нагрузке и заданном угле управления, по аналогии с п. 3 г;

г) переключить тумблер SA1 в нижнее положение, разомкнув индуктивность нагрузки L_H . Снять те же осциллограммы (п. 5 в) при активно-индуктивной нагрузке. Обратить внимание на возникающие перенапряжения. Объяснить их причину. Выключить питание модуля.

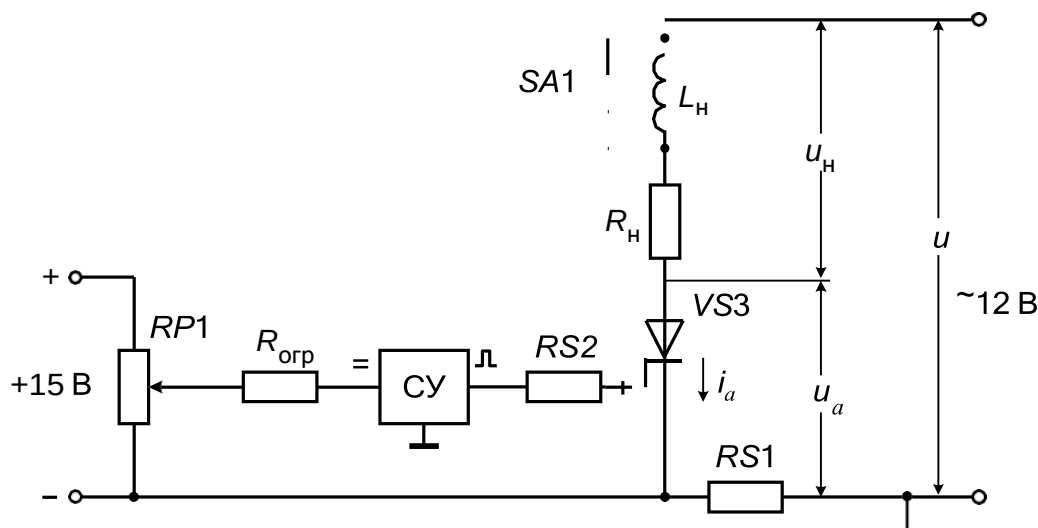


Рис. 7. Схема для исследования однополупериодного выпрямителя на запираемом тиристоре

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

- наименование и цель работы;
- принципиальные электрические схемы выполненных экспериментов в соответствии с мнемосхемой, показанной на рис. 1;
- временные диаграммы, построенные предварительно;
- результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- экспериментально снятые и построенные характеристики;
- обработанные осциллограммы;
- выводы по работе. Обязательно ответить на контрольные вопросы 11–13.

Контрольные вопросы

- Поясните вид анодной ВАХ тиристора.
- Поясните вид входной ВАХ тиристора.
- Как определить пороговое напряжение и дифференциальное сопротивление тиристора во включенном состоянии?
- Как снять анодную ВАХ тиристора?
- Сравните свойства тиристоров и транзисторов по управляемости.
- Объясните назначение диаграммы управления тиристора.
- Чем отличаются анодные ВАХ тиристора и симистора?
- Как выключить запираемый тиристор?

9. Как работает однополупериодный управляемый выпрямитель?
10. Что такое угол управления? По какой осциллограмме его можно определить?
11. На что влияет угол управления?
12. Можно ли в однофазном однополупериодном выпрямителе увеличить угол управления более 90 град при управлении постоянным током?
13. От чего зависит форма напряжения на нагрузке?
14. Можно ли выполнить управляемый выпрямитель на транзисторе? Если нет, то почему, если да, то как?

е) построенные характеристики (регулируемые, внешние и энергетические);

з) выводы по работе:

объяснить влияние коэффициента заполнения γ на величину напряжения на нагрузке понижающего преобразователя постоянного напряжения;

объяснить влияние коэффициента заполнения γ на КПД понижающего преобразователя постоянного напряжения;

пояснить влияние несущей частоты $f_{\text{нес}}$ на коэффициент пульсаций тока нагрузки q ;

4. Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен преобразователь постоянного напряжения?
2. Что такое ключевой режим?
3. Каковы преимущества ключевого режима?
4. Из каких составляющих складываются потери мощности в ключевом режиме?
5. Как влияет вид нагрузки на потери при коммутации?
6. Для чего включается диод, шунтирующий нагрузку?
7. На что влияет тип диода?
8. Что такое регулировочная характеристика понижающего преобразователя постоянного напряжения? Какой вид она имеет?
9. Что такое внешняя характеристика понижающего преобразователя постоянного напряжения? Какой вид она имеет?
10. Как определить коэффициент пульсаций тока нагрузки?
11. На что влияет изменение несущей частоты?
12. Как определить КПД преобразователя постоянного напряжения?
13. Как снять осциллограммы токов и напряжений в схеме?
14. Как подключать входы двухканального осциллографа при осциллографировании токов и напряжений?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Физические основы электроники»
для студентов направления подготовки
11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль):
Интеллектуальные программируемые системы и устройства

Ставрополь
2026

Содержание

Введение

Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Цели и основные задачи СРС

Виды самостоятельной работы

Организация СРС

Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента - необходимое звено становления исследователя

Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

ВВЕДЕНИЕ

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Целью дисциплины является формирование у студентов общепрофессиональных компетенций, основанных на освоении физических закономерностей и эффектов, лежащих в основе принципа действия современной электроники.

Задачи освоения дисциплины:

1. Систематизация физических закономерностей и эффектов, лежащих в основе принципа действия современной твердотельной, вакуумной и плазменной, квантовой электронной техники, а также наиболее часто реализуемых структур электроники с учетом их применения в различных областях техники.
2. Формирование навыков необходимые для проектирования и применения элементов электронной техники в устройствах различной назначения с учетом номенклатуры и свойств активных приборов, особенностей технологии производства, предельными частотными и мощностными характеристиками.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1: ИД-2 _{ОПК-1} Применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характер	Понимает физические процессы, протекающие в различных полупроводниковых приборах и область применения существующих в технике полупроводниковых приборов;
ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2: ИД-1 _{ОПК-2} Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи. ИД-2 _{ОПК-2} Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки ИД-5 _{ОПК-2} Демонстрирует знание методов и средств проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации ИД-6 _{ОПК-2} Выбирает способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования ИД-7 _{ОПК-2} Применяет способы обработки и представления полученных	Производит расчеты режимов и параметров приборов в традиционных схемах включения; Применяет традиционные схемы включения в соответствии с требуемыми характеристиками и параметрами; Применяет модели описания процессов в электронных приборах; Использует эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения.

	данных и оценки погрешности результатов измерений	
--	--	--

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА КАК ВАЖНЕЙШАЯ ФОРМА УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. Обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования - "подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности".

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в лабораторных занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. По данной дисциплине «Основы нейронных сетей» предусмотрены следующие:

Использование материала учебно-методического комплекса дисциплины

На первом этапе необходимо ознакомиться с обязательным минимумом содержания основной образовательной программы по изучаемой дисциплине. Далее необходимо изучить рабочую программу дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с лабораторными занятиями, темы и виды самостоятельной работы. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности, представленные в учебной программе по дисциплине «Основы нейронных сетей».

Работа с литературой

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации, которые представлены в учебной программе.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

ЦЕЛИ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СРС

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами СРС являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

В образовательном процессе высшего профессионального образовательного учреждения выделяется два вида самостоятельной работы – аудиторная, под руководством преподавателя, и внеаудиторная. Тесная взаимосвязь этих видов работ предусматривает дифференциацию и эффективность результатов ее выполнения и зависит от организации, содержания, логики учебного процесса (межпредметных связей, перспективных знаний и др.):

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателя по данной дисциплине являются:

- формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
- подготовка к лабораторным работам, их оформление.

Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателей являются:

- текущие консультации;
- прием и защита лабораторных работ (во время проведения л/р).

ОРГАНИЗАЦИЯ СРС

Методика организации самостоятельной работы студентов зависит от структуры, характера и особенностей дисциплины «Основы нейронных сетей», объема часов на ее изучение, вида заданий для самостоятельной работы студентов, индивидуальных качеств студентов и условий учебной деятельности.

Процесс организации самостоятельной работы студентов включает в себя следующие этапы:

- подготовительный (определение целей, составление программы, подготовка методического обеспечения, подготовка оборудования);
- основной (реализация программы, использование приемов поиска информации, усвоения, переработки, применения, передачи знаний, фиксирование результатов, самоорганизация процесса работы);
- заключительный (оценка значимости и анализ результатов, их систематизация, оценка эффективности программы и приемов работы, выводы о направлениях оптимизации труда).

Деятельность студентов по формированию и развитию навыков учебной самостоятельной работы

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления, саморефлексии и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Выполняя самостоятельную работу под контролем преподавателя студент должен:

- освоить минимум содержания, выносимый на самостоятельную работу студентов и предложенный преподавателем в соответствии с образовательными стандартами высшего образования;
- планировать самостоятельную работу в соответствии с графиком самостоятельной работы, предложенным преподавателем;
- самостоятельную работу студент должен осуществлять в организационных формах, предусмотренных учебным планом и рабочей программой преподавателя;
- выполнять самостоятельную работу и отчитываться по ее результатам в соответствии с графиком представления результатов, видами и сроками отчетности по самостоятельной работе студентов.

студент может:

сверх предложенного преподавателем (при обосновании и согласовании с ним) и минимума обязательного содержания, определяемого программой по данной дисциплине:

- самостоятельно определять уровень (глубину) проработки содержания материала;
- предлагать темы и вопросы для самостоятельной проработки;
- в рамках общего графика выполнения самостоятельной работы предлагать обоснованный индивидуальный график выполнения и отчетности по результатам самостоятельной работы;
- предлагать свои варианты организационных форм самостоятельной работы;
- использовать для самостоятельной работы методические пособия, учебные пособия, разработки сверх предложенного преподавателем перечня;
- использовать не только контроль, но и самоконтроль результатов самостоятельной работы в соответствии с методами самоконтроля, предложенными преподавателем или выбранными самостоятельно.

Самостоятельная работа студентов должна оказывать важное влияние на формирование личности будущего бакалавра, она планируется студентом самостоятельно. Каждый студент самостоятельно определяет режим своей работы и меру труда, затрачиваемого на овладение учебным содержанием по каждой дисциплине. Он выполняет внеаудиторную работу по личному индивидуальному плану, в зависимости от его подготовки, времени и других условий.

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, их дополнение, рекомендованной литературы, активное участие на лабораторных занятиях. Но для успешной учебной деятельности, ее интенсификации, необходимо учитывать следующие субъективные факторы:

1. Знание школьного программного материала, наличие прочной системы знаний, необходимой для усвоения основных вузовских курсов. Это особенно важно для математических дисциплин. Необходимо отличать пробелы в знаниях, затрудняющие усвоение нового материала, от малых способностей. Затратив силы на преодоление этих пробелов, студент обеспечит себе нормальную успеваемость и поверит в свои способности.

2. Наличие умений, навыков умственного труда:

- а) умение конспектировать на лекции и при работе с книгой;
- б) владение логическими операциями: сравнение, анализ, синтез, обобщение, определение понятий, правила систематизации и классификации.

3. Специфика познавательных психических процессов: внимание, память, речь, наблюдательность, интеллект и мышление. Слабое развитие каждого из них становится серьезным препятствием в учебе.

4. Хорошая работоспособность, которая обеспечивается нормальным физическим состоянием. Ведь серьезное учение — это большой многосторонний и разнообразный труд. Результат обучения оценивается не количеством сообщаемой информации, а качеством ее усвоения, умением ее использовать и развитием у себя способности к дальнейшему самостоятельному образованию.

5. Соответствие избранной деятельности, профессии индивидуальным способностям. Необходимо выработать у себя умение саморегулировать свое эмоциональное состояние и устранять обстоятельства, нарушающие деловой настрой, мешающие намеченной работе.

6. Овладение оптимальным стилем работы, обеспечивающим успех в деятельности. Чередование труда и пауз в работе, периоды отдыха, индивидуально обоснованная норма продолжительности сна, предпочтение вечерних или утренних занятий, стрессоустойчивость на экзаменах и особенности подготовки к ним,

7. Уровень требований к себе, определяемый сложившейся самооценкой.

Адекватная оценка знаний, достоинств, недостатков - важная составляющая самоорганизации человека, без нее невозможна успешная работа по управлению своим поведением, деятельностью.

Одна из основных особенностей обучения в высшей школе заключается в том, что постоянный внешний контроль заменяется самоконтролем, активная роль в обучении принадлежит уже не столько преподавателю, сколько студенту.

Зная основные методы научной организации умственного труда, можно при наименьших затратах времени, средств и трудовых усилий достичь наилучших результатов.

Эффективность усвоения поступающей информации зависит от работоспособности человека в тот или иной момент его деятельности.

Работоспособность - способность человека к труду с высокой степенью напряженности в течение определенного времени. Различают внутренние и внешние факторы работоспособности.

К внутренним факторам работоспособности относятся интеллектуальные особенности, воля, состояние здоровья.

К внешним:

- организация рабочего места, режим труда и отдыха;
- уровень организации труда - умение получить справку и пользоваться информацией;
- величина умственной нагрузки.

Выдающийся русский физиолог Н. Е. Введенский выделил следующие условия продуктивности умственной деятельности:

- во всякий труд нужно входить постепенно;
- мерность и ритм работы. Разным людям присущ более или менее разный темп работы;
- привычная последовательность и систематичность деятельности;
- правильное чередование труда и отдыха.

Отдых не предполагает обязательного полного бездействия со стороны человека, он может быть достигнут простой переменой дела. В течение дня работоспособность изменяется. Наиболее плодотворным является *утреннее время (с 8 до 14 часов)*, причем максимальная работоспособность приходится на период с 10 до 13 часов, затем *послеобеденное* - (с 16 до 19 часов) и *вечернее* (с 20 до 24 часов). Очень трудный для понимания материал лучше изучать в начале каждого отрезка времени (лучше всего утреннего) после хорошего отдыха. Через 1-1,5 часа нужны перерывы по 10 - 15 мин, через 3 - 4 часа работы отдых должен быть продолжительным - около часа.

Составной частью научной организации умственного труда является овладение техникой умственного труда.

Время, которым располагает студент для выполнения учебного плана, складывается из двух составляющих: одна из них — это аудиторная работа в вузе по расписанию занятий, другая - внеаудиторная самостоятельная работа. Задания и материалы для самостоятельной работы выдаются во время учебных занятий по расписанию, на этих же занятиях преподаватель осуществляет контроль за самостоятельной работой, а также оказывает помощь студентам по правильной организации работы.

Самостоятельные занятия требуют интенсивного умственного труда, который необходимо не только правильно организовать, но и стимулировать. При этом очень важно уметь поддерживать устойчивое внимание к изучаемому материалу. Выработка внимания требует значительных волевых усилий. Именно поэтому, если студент замечает, что он часто отвлекается во время самостоятельных занятий, ему надо заставить себя сосредоточиться. Подобную процедуру необходимо проделывать постоянно, так как это является тренировкой внимания. Устойчивое внимание появляется тогда, когда человек относится к делу с интересом.

Следует правильно организовать свои занятия по времени: 50 минут - работа, 5-10 минут - перерыв; после 3 часов работы перерыв - 20-25 минут. Иначе нарастающее утомление повлечет неустойчивость внимания. Очень существенным фактором, влияющим на повышение умственной работоспособности, являются систематические занятия физической культурой. Организация активного отдыха предусматривает чередование умственной и физической деятельности, что полностью восстанавливает работоспособность человека.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА - НЕОБХОДИМОЕ ЗВЕНО СТАНОВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

Прогресс науки и техники, информационных технологий приводит к значительному увеличению научной информации, что предъявляет более высокие требования не только к моральным, нравственным свойствам человека, но и в особенности, постоянно возрастающие требования в области образования – обновление, модернизация общих и профессиональных знаний, умений специалиста.

Всякое образование должно выступать как динамический процесс, присущий человеку и продолжающийся всю его жизнь. Овладение научной мыслью и языком науки является необходимой составляющей в самоорганизации будущего специалиста исследователя. Под этим понимается не столько накопление знаний, сколько овладение научно обоснованными способами их приобретения. В этом, вообще говоря, состоит основная задача вуза.

Специфика вузовского учебного процесса, в организации которого самостоятельной работе студента отводятся все больше места, состоит в том, что он является как будто бы последним и самым адекватным звеном для реализации этой задачи. Ибо во время учебы в вузе происходит выработка стиля, навыков учебной (познавательной) деятельности, рациональный характер которых будет способствовать постоянному обновлению знаний высококвалифицированного выпускника вуза.

Однако до этого пути существуют определенные трудности, в частности, переход студента от синтетического процесса обучения в средней школе, к аналитическому в

высшей. Это связано как с новым содержанием обучения (расширение общего образования и углубление профессиональной подготовки), так и с новыми, неизвестными до сих пор формами: обучения (лекции, семинары, лабораторные занятия и т.д.). Студент получает не только знания, предусмотренные программой и учебными пособиями, но он также должен познакомиться со способами приобретения знаний так, чтобы суметь оценить, что мы знаем, откуда мы это знаем и как этого знания мы достигли. Ко всему этому приходят через собственную самостоятельную работу.

Это и потому, что самостоятельно приобретенные знания являются более оперативными, они становятся личной собственностью, а также мотивом поведения, развивают интеллектуальные черты, внимание, наблюдательность, критичность, умение оценивать. Роль преподавателя в основном заключается в руководстве накопления знаний (по отношению к первокурсникам), а в последующие годы учебы, на старших курсах, в совместном установлении проблем и заботе о самостоятельных поисках студента, а также контролирования за их деятельностью. Отметим, что нельзя ограничиваться только приобретением знаний, предусмотренных программой изучаемой дисциплины, надо постоянно углублять полученные знания, сосредотачивая их на какой-нибудь узкой определенной области, соответствующей интересам студента. Углубленное изучение всех предметов, предусмотренных программой, на практике является возможным, и хорошая организация работы позволяет экономить время, что создает условия для глубокого, систематического, заинтересованного изучения самостоятельно выбранной студентом темы.

Конечно, все советы, примеры, рекомендации в этой области, даваемые преподавателем, или определенными публикациями, или другими источниками, не гарантируют никакого успеха без проявления собственной активности в этом деле, т. е. они не дают готовых рецептов, а должны способствовать анализу собственной работы, ее целей, организации в соответствии с индивидуальными особенностями. Учитывая личные возможности, существующие условия жизни и работы, навыки, на основе этих рекомендаций, возможно, выработать индивидуально обоснованную совокупность методов, способов, найти свой стиль или усовершенствовать его, чтобы изучив определенный материал, иметь время оценить его значимость, пригодность и возможности его применения, чтобы, в конечном счете, обеспечить успешность своей учебы с будущей профессиональной деятельности

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ОТДЕЛЬНЫМ ФОРМАМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Система вузовского обучения подразумевает значительно большую самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

Работа с литературой

При работе с литературой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой — это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Различают два вида чтения; первичное и вторичное. *Первичное* - это внимательное, неторопливое чтение, при котором можно остановиться на трудных местах. После него не должно остаться ни одного непонятого слова. Содержание не всегда может быть понятно после первичного чтения.

Задача *вторичного* чтения полное усвоение смысла целого (по счету это чтение может быть и не вторым, а третьим или четвертым).

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанно читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют **четыре основные установки в чтении научного текста:**

1. информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)
1. усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)
2. аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)
3. творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к научному тексту связано существование и нескольких **видов чтения:**

1. библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

2. просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

3. ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц, цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

4. изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

5. аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач. Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи, с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках учебной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с научным текстом.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

1. Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

1. Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

2. Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

3. Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

4. Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта.

2. Выделите главное, составьте план.

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора.

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

Лабораторные занятия

Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться на лабораторных занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью выполнения заданий лабораторной работы, поставленных задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном выполнении заданий нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что выполнение каждого учебного задания должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Выполнение заданий данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

Самопроверка

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих заданий на лабораторных занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, используя лист опорных материалов, воспроизвести по памяти определения, выводы формул, формулировки основных положений и доказательств.

В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует

помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

Консультации

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при выполнении заданий у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

Подготовка к экзамену по дисциплине «Основы нейронных сетей».

Изучение многих общепрофессиональных и специальных дисциплин завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания.

Экзамен - форма промежуточной аттестации студентов по результатам освоения теоретических знаний, приобретения практических навыков и компетенций, целью которой является контроль результатов освоения студентами учебного материала по программе конкретной дисциплины, проверка и оценка знаний, полученных за семестр (курс), их прочности, развития творческого мышления, приобретения навыков самостоятельной работы, умения применять теоретические знания при решении практических задач. Экзамен может быть проведен в устной форме, в устно-письменной форме, в форме письменной работы или тестирования.

Число вопросов, включаемых в экзаменационный билет, должно быть не менее двух и не более пяти, при этом вопросы могут носить как теоретический, так и прикладной характер. На экзамен могут выноситься типовые задачи, проработанные в течение семестра на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы. Содержание вопросов и задач, включаемых в экзаменационный билет, должно соответствовать учебной программе дисциплины и фондам оценочных средств. Перечень примерных вопросов, заданий и критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций доводятся до сведения обучающихся в начале семестра изучения дисциплины.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Текущая аттестация студентов проводится преподавателями, ведущими лабораторные занятия по дисциплине в следующих формах: собеседование при защите лабораторной работы с предоставлением письменного отчета. Допуск к лабораторным работам происходит при наличии у студентов печатного варианта отчета. Защита отчета проходит в форме собеседования. Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть работы. Основанием для снижения оценки являются:

- не качественно выполненная работа на персональном компьютере,
- письменный отчет выполнен в небрежной форме и с ошибками,
- студент не дает исчерпывающий ответ на вопрос преподавателя,
- путается или затрудняется в демонстрации работы на компьютере.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- небрежное выполнение и с ошибками,

- сокращенное содержание отчета.

Критерии оценивания собеседования приведены в Фонде оценочных средств по дисциплине Основы нейронных сетей.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

8.1.1. Перечень основной литературы:

1. Бялик, А. Д. Физические основы электроники: Транзисторы. Гальваноманнитные и термоэлектрические приборы. Оптоэлектронные приборы : учебное пособие : [16+] / А. Д. Бялик, А. В. Каменская ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 92 с. : табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=573766>

2. Власов В.П. Физические основы электроники [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.П. Власов, В.Н. Каравашкина. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский технический университет связи и информатики, 2016. — 67 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/61571.html>

3. Водовозов, А.М. Основы электроники : учебное пособие / А.М. Водовозов. - Москва-Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. - 140 с. : ил., схем. - Библиогр. в кн.. - ISBN 978-5-9729-0137-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444184>

8.1.2. Перечень дополнительной литературы:

1. Аристов, А.В. Физические основы электроники. Сборник задач и примеры их решения : учебно-методическое пособие / А.В. Аристов, В.П. Петрович ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». - Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. - 100 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442087>

2. Легостаев, Н.С. Твердотельная электроника : учебное пособие / Н.С. Легостаев, К.В. Четвергов. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 244 с. - ISBN 978-5-4332-0021-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208951>

3. Игумнов, В.Н. Физические основы микроэлектроники : учебное пособие / В.Н. Игумнов. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 358 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 345-346. - ISBN 978-5-4475-3300-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271708>

4. Валюхов, Д.П. Физические основы электроники : учебное пособие / Д.П. Валюхов, Р.В. Пигулев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2014. - 135 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457767>

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

1. Тулик Н.В. Оптико-электронные приборы и системы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.В. Тулик. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Вузовское образование, 2019. — 217 с. — 978-5-4487-0410-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79656.html>

2. Фролов В.А. Электронная техника: Часть 1: Электронные приборы и устройства [Электронный ресурс]: учебник/ Фролов В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015.— 532 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45346>.— ЭБС «IPRbooks»

3. Игумнов, В.Н. Физические основы микроэлектроники : практикум / В.Н. Игумнов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 266 с. : ил., табл., схем. - Библиогр.: с. 255. - ISBN 978-5-4475-3301-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271707>

4. Давыдов, В.Н. Физические основы оптоэлектроники : учебное пособие / В.Н. Давыдов ; Министерство образования и науки Российской Федерации. - Томск : ТУСУР, 2016. - 139 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480763>

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- 1 <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование»
- 2 <http://www.en.edu.ru> – естественно-научный образовательный портал
- 3 <http://window.edu.ru> – единое окно доступа к образовательным ресурсам
- 4 <http://catalog.ncfu.ru> – электронные каталоги Ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО.
- 5 <http://eLibrary.ru/> - Научная электронная библиотека.
- 6 <http://www.biblioclub.ru/> - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».
- 7 <http://www.iprbookshop.ru> - Электронно-библиотечная система «IPRbooks».