

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

А. К. Пронина

Э Л Е М Е Н Т Ы И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СУДОВОЙ АВТОМАТИКИ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
для студентов специальности
26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования
и средств автоматики»
очной и заочной формы обучения

Севастополь
СевГУ
2025

УДК 681.58:629.5(076.5)

ББК 39.42-05-5*я73

П81

Р е ц е н з е н т :

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

Пронина, А. К.

П81 Элементы и функциональные устройства судовой автоматики : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине для студентов специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» очной и заочной формы обучения / А. К. Пронина ; Севастопольский государственный университет, Морской институт. – Севастополь : СевГУ, 2025. – 29 с. – Текст : электронный.

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

УДК 681.58:629.5(076.5)
ББК 39.42-05-5*я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры «Судовое электрооборудование», протокол № 8 от 26 марта 2025 г.

© Пронина А.К., 2025
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Общее описание стенда	5
Работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА	10
Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ	13
Работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОТРАНЗИСТОРА	17
Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАРАТОРОВ	19
Работа № 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ	21
Работа № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ	24
Работа № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ	27

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики».

Основная задача данного цикла лабораторных работ – предоставить студентам возможность практически изучить основные типы устройств преобразовательной техники. Студенты должны приобрести навыки работы с электронными схемами и закрепить материал, изученный теоретически.

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

Для более глубокого изучения материала студенты дома до выполнения лабораторной работы проводят 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 пособии.

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

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. 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.

2. 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.

3. Проведение эксперимента

Получив разрешение преподавателя на проведение лабораторного исследования, следует немедленно приступить к сборке электрических цепей на рабочем месте. Рекомендуются 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.

4. 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.

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 $U_{з.мах}$, при котором еще обеспечивается линейное усиление;

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

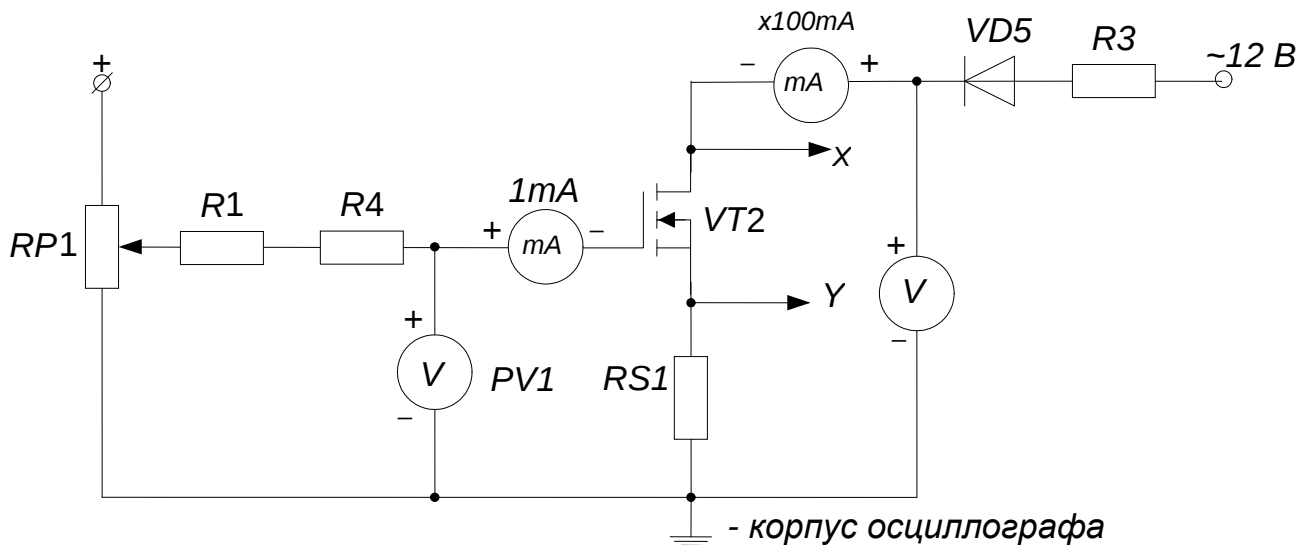


Рис. 2. Схема для снятия выходных статических ВАХ при помощи осциллографа

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

Записать масштабы по напряжению и току. Выключить питание модуля.

4. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

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

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

г) при оформлении отчета *определить и рассчитать*:

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

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

д) выводы:

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

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

5. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия полевого транзистора с изолированным затвором?

2. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к 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?

Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Цель работы

Изучение характеристик, параметров и режимов работы усилительного каскада с общим истоком.

2. Задание и методические указания

Предварительное домашнее задание:

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

б) начертить принципиальные схемы для снятия характеристик полевого транзистора в соответствии с заданным подвариантом.

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

а) собрать схему для исследования усилительного каскада (рис. 1).

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 $RP2$);

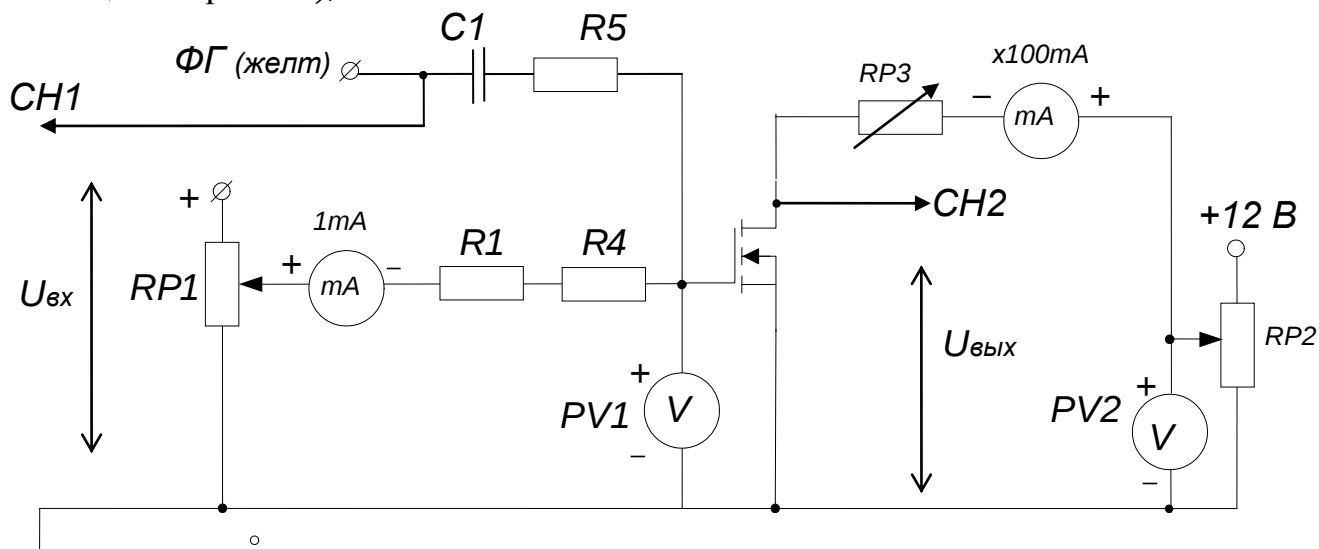


Рис. 1. Схема исследования усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком

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

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 $U_{\text{зр}}$ и определите значения тока $I_{\text{ср}}$ и напряжения $U_{\text{ср}}$ (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 $U_{\text{зр}}$, $I_{\text{ср}}$, $U_{\text{ср}}$ 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: $U_{\text{зр}}$, $I_{\text{ср}}$, $U_{\text{ср}}$ и максимальную амплитуду синусоидального неискаженного выходного напряжения $U_{\text{вых.т}}$. Зарисовать кривые выходного напряжения при изменении постоянной составляющей напряжения на затворе $U'_3 = 0,5 \cdot (U_{3(1)} + U_{\text{зр}})$ и $U''_3 = 0,6 \cdot (U_{3(1)} + U_{\text{зр}})$, при этом переменный входной сигнал не изменять;

д) определить коэффициент усиления каскада по напряжению k_u в классе А. Для этого установить $U_3 = U_{\text{зр}}$, раскоротить вход $СН1$ 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_{cn} и напряжение U_{cn} . Выключить питание модуля.

4. 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*:
- 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 ($P_{с.ср} = (P_{cn} + P_{co})/2$), 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.

5. Контрольные вопросы

1. Как выбрать рабочую точку покоя в классах А, АВ, В, D?
2. Нарисуйте схему усилительного каскада с общим истоком.
3. Каково назначение элементов усилителя?

4. Как определить коэффициент усиления каскада по напряжению (графически и экспериментально)?
5. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
6. Что такое ключевой режим?
7. Каковы преимущества ключевого режима?
8. Как определить ток стока и напряжение на стоке транзистора в точках отсечки и насыщения на постоянном токе?

Работа № 3. 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;

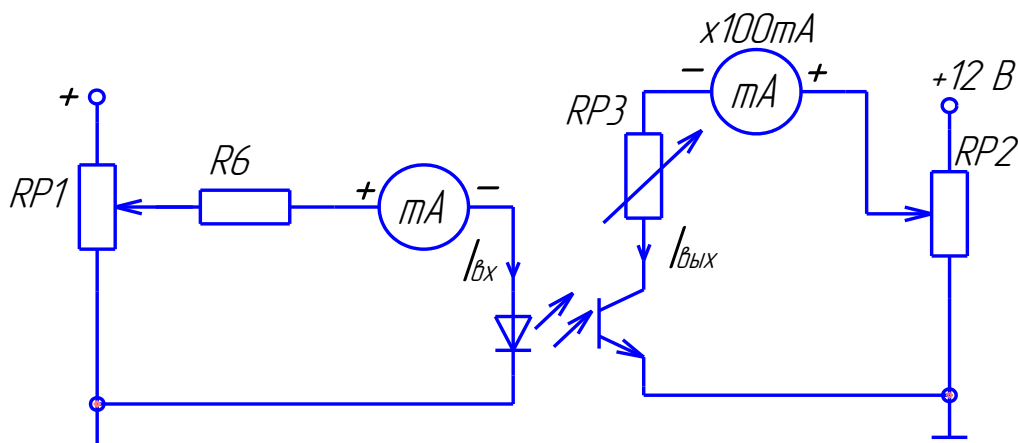


Рис. 1. Схема исследования транзисторного оптрона

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».

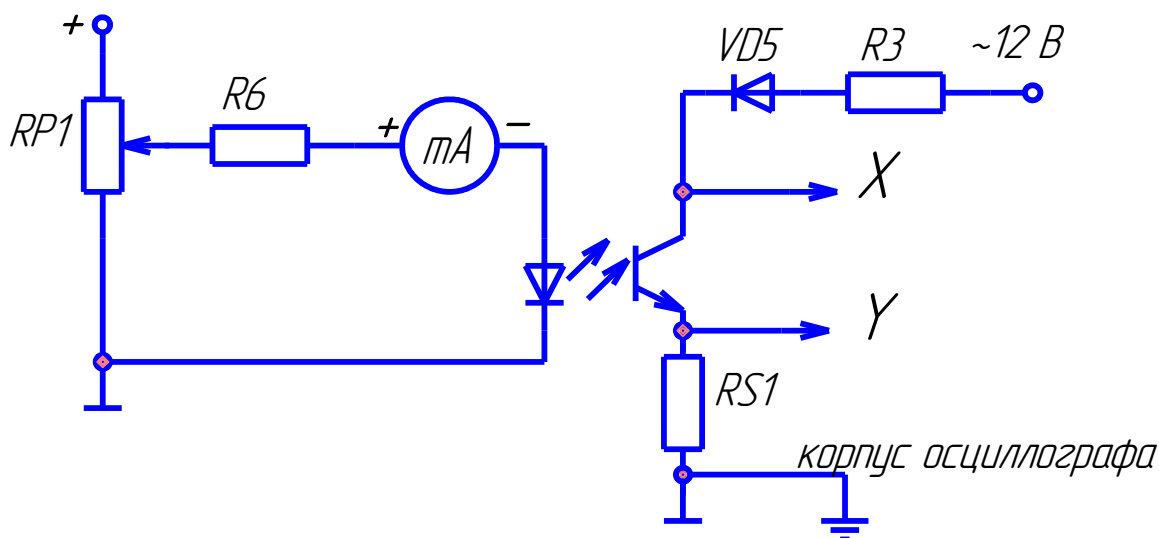


Рис. 2. Схема исследования осциллограмм транзисторного оптрона

4. Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

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

5. Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия транзисторного оптрона?
2. Какова полярность постоянных напряжений, прикладываемых к транзисторному оптрону?
3. Как выглядят входные, выходные и передаточные характеристики транзисторного оптрона?
4. Как снять статические выходные характеристики?
5. Каково назначение резистора, включаемого на входе оптопары?
6. Как определить быстродействие оптрона?
7. Каковы области применения различных оптронов?
8. В чем общее преимущество оптронов перед другими управляемыми полупроводниковыми приборами?

Работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАРАТОРОВ

1. Цель работы

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

2. Задание и методические указания

1. Предварительное домашнее задание:

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

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

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

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

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

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;

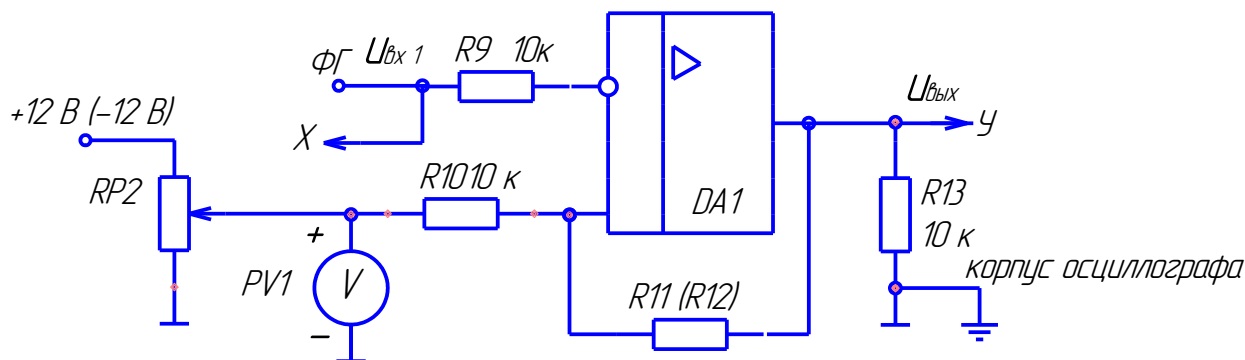


Рис. 1. Схема исследования двухвходового компаратора с положительной обратной связью

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

4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы.
- е) выводы по работе: сделать выводы о влиянии сопротивления в цепи обратной связи регенеративного компаратора на его передаточную характеристику.

5. Контрольные вопросы

1. Что называется компаратором?
2. Зачем в компараторе применяется положительная обратная связь?
3. Как получить периодические прямоугольные импульсы на выходе компаратора?
4. Как зависит вид характеристики передачи регенеративного компаратора от сопротивления обратной связи.
5. Как снять амплитудную характеристику компаратора при помощи осциллографа?

Работа № 5. 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 осциллограммы анодного тока и напряжения на диоде;

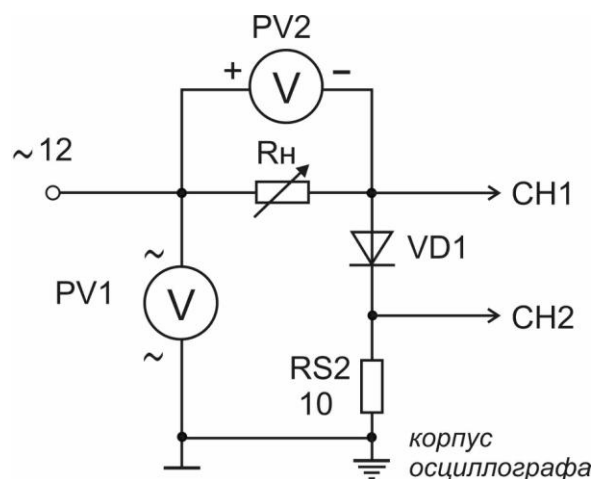


Рис. 1. Схема исследования однополупериодного выпрямителя на диоде

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;

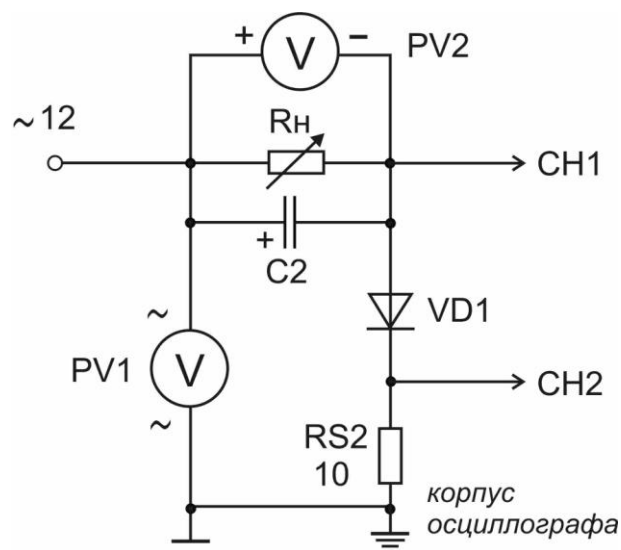


Рис. 2. Схема подключения осциллографа однополупериодного выпрямителя на диоде с параллельно включенным конденсатором

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;

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;

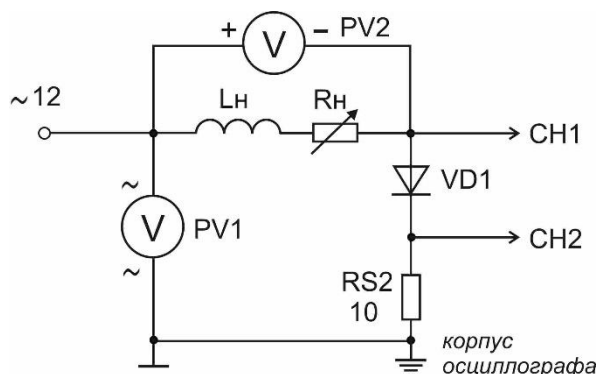


Рис. 3. Схема подключения осциллографа однополупериодного выпрямителя на диоде с последовательно включенным дросселем

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 № 6. 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:

$$s \approx \frac{m\omega L_d}{R_d}, \quad q = \frac{q_1 R_d}{m\omega L_d},$$

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.

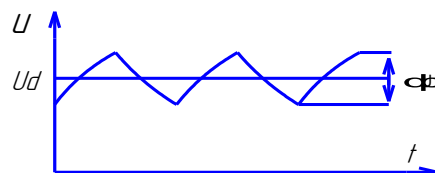
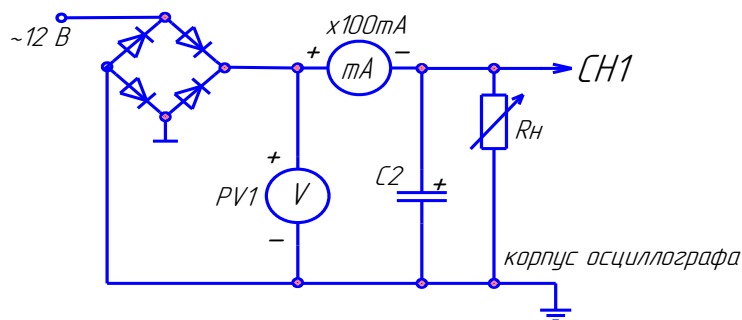


Рис. 1. Схема исследования емкостного фильтра Рис. 2. Осциллограмма выпрямленного напряжения u_d

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.

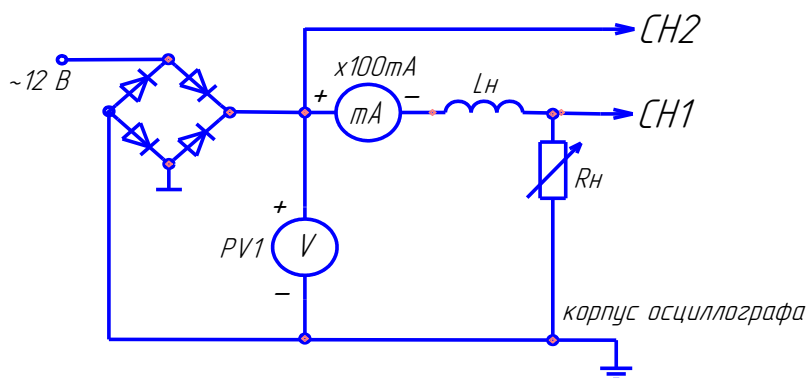


Рис. 3. Схема исследования индуктивного фильтра

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_H . 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.

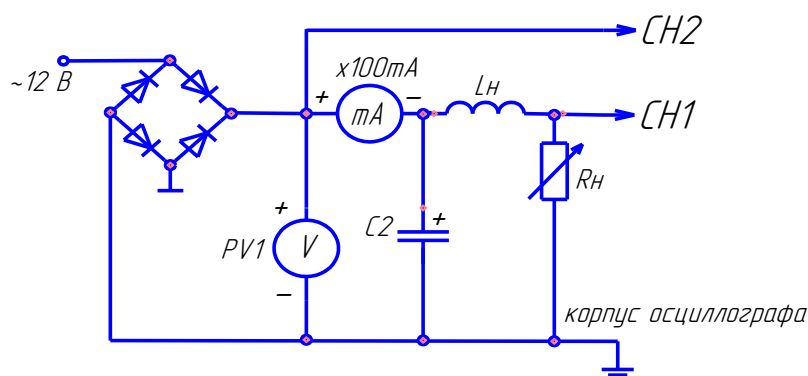


Рис. 4. Схема исследования Г-образного фильтра

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, 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 (дрессель) фильтра на форму анодного тока?

Работа № 7. 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.

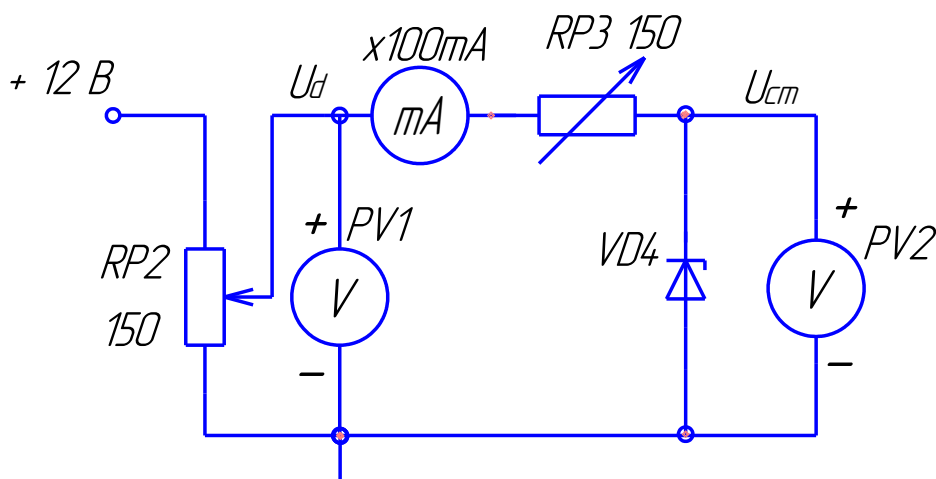


Рис. 1. Схема исследования параметрического стабилизатора

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром RP2 напряжение питания U_d на входе стабилизатора, измерять соответствующее ему выходное напряжение U_{cm} . Особенно тщательно отметить напряжение питания, при котором начинается стабилизация. Одновременно измерять ток I_d ,

потребляемый стабилизатором. Результаты измерений занести в таблицу, по которой построить зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$;

Определить напряжение стабилизации стабилизатора U_{cm} .

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

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

4. Экспериментальное исследование параметрического стабилизатора при изменении нагрузки

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

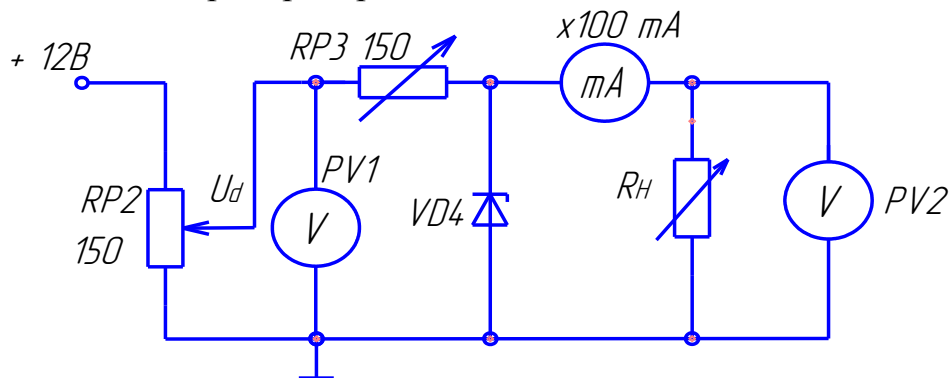


Рис. 2. Схема исследования параметрического стабилизатора при изменении нагрузки

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

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

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

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

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

б) снять зависимость выходного напряжения от напряжения источника питания $U_{cm} = f(U_d)$. Для этого, изменяя потенциометром RP2 напряжение

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

6. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) схемы соединений для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы;
- е) выводы по работе; в выводах обязательно ответить на контрольные вопросы 5, 6.

7. Контрольные вопросы

1. Где рабочий участок на ВАХ стабилитрона?
2. Как работает параметрический стабилизатор напряжения?
3. Для чего служит балластный резистор?
4. Как изменится напряжение на выходе стабилизатора при повышении температуры?
5. При каком минимальном напряжении на входе стабилизатора еще возможна стабилизация напряжения? От чего оно зависит?
6. От каких параметров и как зависит качество стабилизации напряжения?

Пронина Анна Константиновна

**Э Л Е М Е Н Т Ы
И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
СУДОВОЙ АВТОМАТИКИ**

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ по дисциплине*

В авторской редакции

Изд. № 94/2025. Объем 2 п.л. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,96.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»