

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет  
Институт химии и энергетики

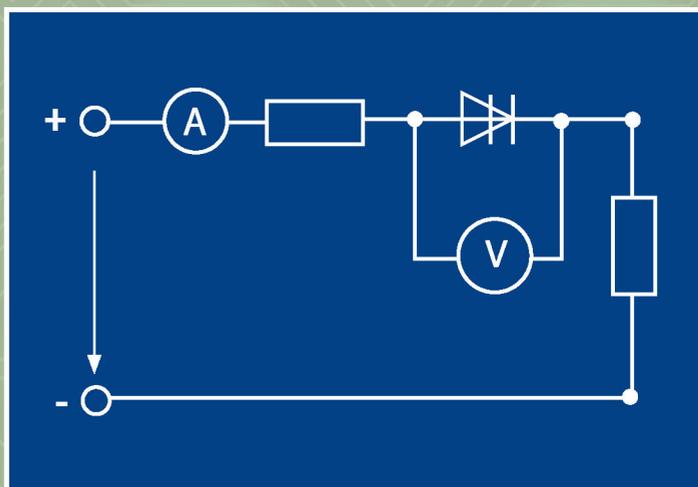
Д.А. Нагаев

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Лабораторный  
практикум

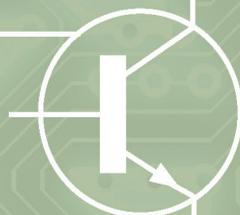
В двух частях

Часть 1



© ФГБОУ ВО  
«Тольяттинский  
государственный  
университет», 2021

ISBN 978-5-8259-1563-0



УДК 621.3  
ББК 31.295Я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры  
«Электромеханика» Уфимского государственного авиационного  
технического университета *И.И. Ямалов*;  
канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного  
университета *Д.А. Кретов*.

Нагаев, Д.А. Информационно-измерительная техника в электроэнергетике : лабораторный практикум В 2 ч. Ч. 1 / Д.А. Нагаев. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2021. — 1 оптический диск. — ISBN 978-5-8259-1563-0.

Лабораторный практикум содержит теорию и порядок выполнения лабораторных работ по курсу «Информационно-измерительная техника в электроэнергетике».

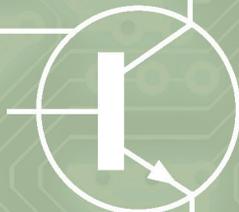
Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2021



Редактор *О.И. Елисева*  
Технический редактор *Н.П. Крюкова*  
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

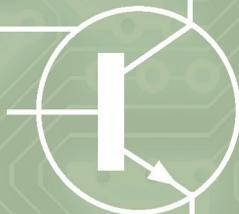
Дата подписания к использованию 31.03.2021.

Объем издания 9,5 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск,  
первичная упаковка.

Заказ № 1-35-19.

Издательство Тольяттинского  
государственного университета  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 53-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)



## Содержание

Введение .....	5
Общие методические рекомендации и указания по выполнению лабораторных работ .....	6
Описание лабораторного стенда .....	8
Лабораторная работа 1. Исследование свойств полупроводникового диода в составе однополупериодного выпрямителя и светодиода .....	15
Лабораторная работа 2. Исследование характеристик биполярного транзистора .....	22
Лабораторная работа 3. Исследование свойств полевого транзистора в составе усилителя .....	30
Лабораторная работа 4. Исследование свойств и характеристик тиристоров .....	37
Лабораторная работа 5. Исследование свойств и характеристик операционного усилителя .....	45
Приложение .....	53

## ВВЕДЕНИЕ

Учебный план дисциплины «Информационно-измерительная техника и электроника» для студентов очной и заочной форм обучения предусматривает выполнение лабораторных работ.

В задачи лабораторных работ входит закрепление теоретических знаний, развитие практических навыков, ознакомление со средствами электрических измерений, измерительными приборами и оборудованием, освоение методов измерений в системах электропитания.

Промышленные предприятия и жилищно-коммунальное хозяйство активно потребляют электрическую и тепловую энергию. Для изучения режима потребления энергии необходимо измерять и регистрировать электрические и неэлектрические величины с использованием приборов и измерительных преобразователей различного принципа действия.

Номенклатура приборов, используемых в энергоснабжении для измерения электрических и неэлектрических величин, весьма разнообразна по методам измерений и по принципам реализации. Однако существующая номенклатура приборов не позволяет решать все задачи в полной мере в основном из-за трудностей измерения неэлектрических величин, поэтому устройства для их измерения электрическими методами постоянно развиваются и разнообразны по принципам действия и техническому исполнению.

Методические указания практикума помогут студентам в выполнении лабораторных работ, познакомят с приборами и устройствами, входящими в средства измерений электрических и неэлектрических величин, используемых в системах электропитания.

## **ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### ***Подготовка***

Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с расписанием учебных занятий и в течение определенного времени. Для выполнения лабораторных работ студент должен:

- 1) предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ;
- 2) внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чем состоит основная цель и задача этой работы;
- 3) по лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе;
- 4) подготовить соответствующие схемы, таблицы наблюдений, расчетные формулы, материалы для построения графиков и др.

Неподготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

### ***Выполнение***

При выполнении лабораторной работы необходимо соблюдение следующих требований.

1. Перед сборкой электрической цепи студенты должны предварительно ознакомиться с электрическим оборудованием и его параметрами, а также с измерительными приборами, необходимыми для проведения соответствующей лабораторной работы.
2. Сборку электрической схемы необходимо производить в точном соответствии с заданием. После окончания сборки электрическая схема должна быть предъявлена для проверки. Включать цепь под напряжение можно только с разрешения преподавателя или инженера.
3. Показания приборов и результаты измерений студент заносит в свою рабочую тетрадь.
4. Разбирать электрическую схему, а также приступать к сборке новой можно только с разрешения преподавателя.

5. По окончании работы в лаборатории рабочее место должно быть приведено в порядок.
6. В течение всего времени занятий в лаборатории студенты обязаны находиться на своих рабочих местах. Выходить из помещения лаборатории во время занятий можно только с разрешения преподавателя.

### ***Оформление отчета***

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- наименование, цель и программу работы;
- принципиальную схему лабораторной установки;
- состав оборудования, перечень аппаратуры с указанием основных параметров, пределов измерений, класса точности и системы измерительных приборов;
- полученные расчетные значения, таблицы с экспериментальными данными, временные характеристики параметров;
- анализ полученных результатов, оформленный в виде выводов по работе.

Образец оформления титульного листа отчета дан в приложении.

# ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

## *Общие сведения*

Лабораторный стенд представляет собой комплект типового лабораторного оборудования «Электронные приборы и устройства» ЭПУ.002 РБЭ, который предназначен для проведения лабораторно-практических занятий по учебным дисциплинам электроэнергетического профиля в учреждениях высшего профессионального образования.

Указанный лабораторный стенд позволяет выполнить базовые эксперименты с использованием комплекта типового лабораторного оборудования. В ходе их выполнения собираются и опробуются наиболее часто применяемые на практике схемы.

## *Компоновка оборудования*

Общая компоновка типового комплекта оборудования в стендовом исполнении показана на рис. 1.

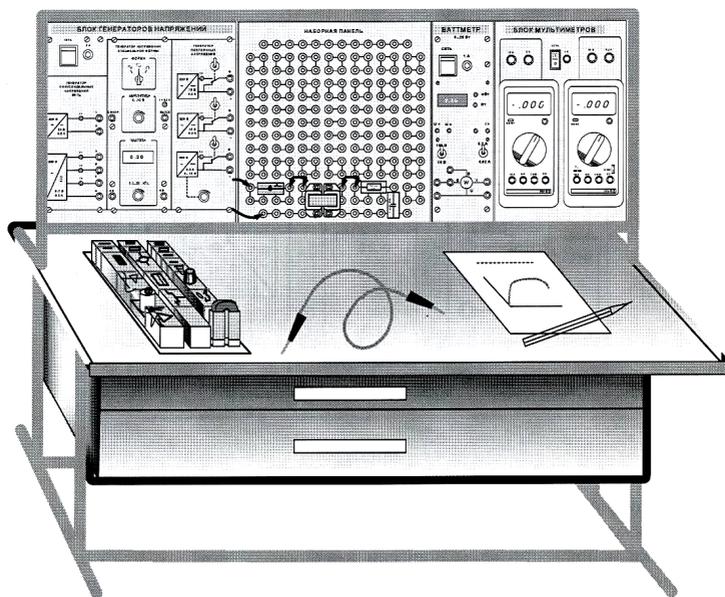


Рис. 1. Типовой стенд

На лабораторном столе закреплена рама, в которой устанавливаются отдельные блоки. Расположение блоков жёстко не фиксировано. Оно может изменяться для удобства проведения того или иного конкретного эксперимента. Наборная панель, на которой собирается электрическая цепь из мини-блоков, может устанавливаться и непосредственно на столе.

В выдвижных ящиках хранятся наборы мини-блоков и устройств, соединительные провода, перемычки и кабели, методические материалы. Один из наборов мини-блоков показан на рис. 1.

### *Блок генераторов напряжений*

Лицевая панель блока генераторов напряжений показана на рис. 2. Блок состоит из генератора синусоидальных напряжений, генератора напряжений специальной формы и генератора постоянных напряжений.

Все генераторы включаются и выключаются общим выключателем «СЕТЬ» и защищены от внутренних коротких замыканий плавким предохранителем с номинальным током 2 А.

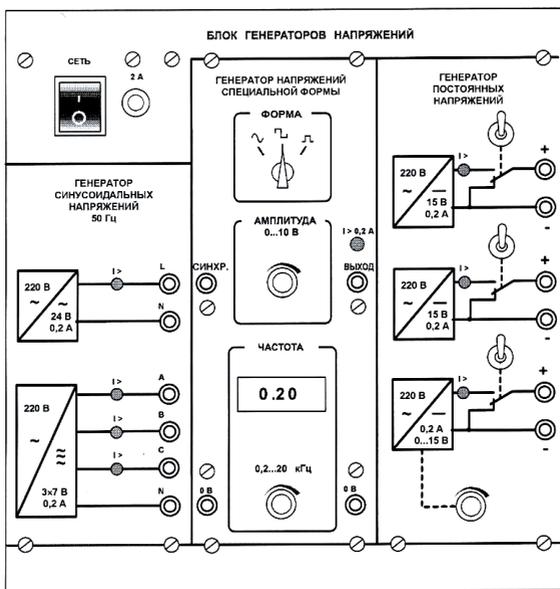


Рис. 2. Блок генераторов напряжения

На лицевой панели блока указаны номинальные напряжение и ток каждого источника напряжения, а также диапазоны изменения регулируемых выходных величин. Все источники напряжений гальванически изолированы друг от друга и от корпуса блока и защищены от перегрузок и внешних коротких замыканий самовосстанавливающимися предохранителями с номинальным током 0,2 А. О срабатывании предохранителя свидетельствует индикатор «I».

Генератор синусоидальных напряжений содержит однофазный источник напряжения 24 В (вторичная обмотка питающего трансформатора 220/24 В) и трёхфазный стабилизированный по амплитуде выходного напряжения преобразователь однофазного напряжения в трёхфазное. Выходное сопротивление трёхфазного источника в рабочем диапазоне токов близко к нулю.

Генератор напряжений специальной формы вырабатывает на выходе синусоидальный, прямоугольный двухполярный или прямоугольный однополярный сигнал в зависимости от положения переключателя «ФОРМА». Выходное сопротивление генератора в рабочем диапазоне токов также близко к нулю. Между гнездами «СИНХР» и «0 В» генератора при любом положении переключателя «ФОРМА» вырабатываются однополярные прямоугольные импульсы амплитудой 5 В, которые можно использовать для внешней синхронизации осциллографа. Частота сигнала регулируется десятиоборотным потенциометром «ЧАСТОТА» и не зависит ни от формы и амплитуды сигнала, ни от тока нагрузки.

Генератор постоянных напряжений содержит три источника стабилизированного напряжения 15 В, гальванически изолированных друг от друга. Выходное напряжение одного из этих источников регулируется от 0 до 15 В десятиоборотным потенциометром. Выходные сопротивления этих источников также близки к нулю, и все они допускают режим работы с обратным током (режим потребления энергии). Для получения постоянных напряжений больше 15 В они могут соединяться последовательно. Для исключения источников из собранной схемы цепи используются переключатели (тумблеры).

### *Наборная панель*

Наборная панель (рис. 3) служит для расположения на ней мини-блоков в соответствии со схемой данного опыта.

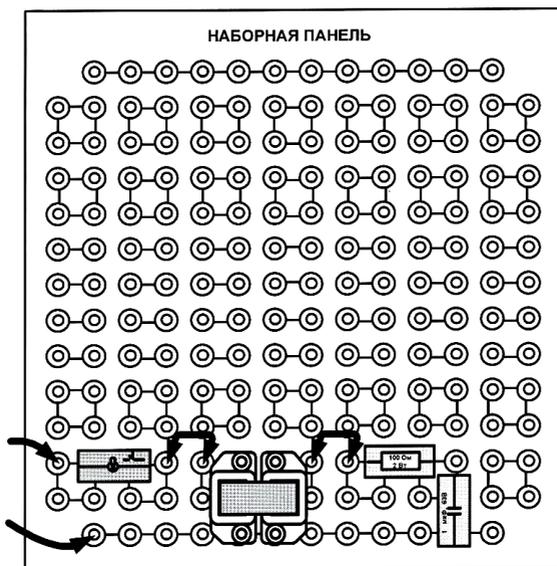


Рис. 3. Наборная панель

Гнёзда на этой панели соединены в узлы, как показано на ней линиями. Поэтому часть соединений выполняется автоматически при установке мини-блоков в гнёзда панели. Остальные соединения выполняются соединительными проводами и перемычками. Так, на фрагменте цепи, показанной на рис. 3, напряжение подаётся проводами через выключатель к одной из обмоток трансформатора. К другой обмотке подключены резистор и конденсатор, соединённые последовательно.

Для измерения токов в ветвях цепи удаляется одна из перемычек и вместо неё в образовавшийся разрыв включается амперметр. Для измерения напряжений на элементах цепи параллельно рассматриваемому элементу включается вольтметр.

### ***Набор мини-блоков***

Мини-блоки представляют собой отдельные элементы электрических цепей (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, диоды, транзисторы и т. п.), помещённые в прозрачные корпуса, имеющие штыри для соединения с гнездами наборной панели. Некоторые мини-блоки содержат несколько элементов, соединённых между собой, или более сложные функциональные блоки. На этикетках мини-блоков изображены условные обозначения элементов или упрощённые электрические схемы их соединения, показано расположение выводов и приведены основные технические характеристики. Мини-блоки хранятся в специальном контейнере.

### ***Блок мультиметров***

Блок мультиметров предназначен для измерения напряжений, токов, сопротивлений, а также для проверки диодов и транзисторов. Общий вид блока представлен на рис. 4. В нём установлены два серийно выпускаемых мультиметра МУ60, МУ62 или МУ64. Подробная техническая информация о них и правила применения приводятся в руководстве по эксплуатации, составленном изготовителем. В блоке установлен источник питания мультиметров от сети с выключателем и предохранителем на 1 А. На лицевую панель блока вынесены также четыре предохранителя защиты токовых цепей мультиметров.

Для обеспечения надёжной длительной работы мультиметров соблюдайте следующие правила:

- Не превышайте допустимых перегрузочных значений, указанных в заводской инструкции для каждого рода работы.
- Когда порядок измеряемой величины неизвестен, устанавливайте переключатель пределов измерения на наибольшую величину.
- Перед тем как повернуть переключатель для смены рода работы (не для изменения предела измерения!), отключайте щупы от проверяемой цепи.
- Не измеряйте сопротивление в цепи, к которой подведено напряжение.
- Не измеряйте ёмкость конденсаторов, не убедившись, что они разряжены.

- Будьте внимательны при измерении тока мультиметрами МУ62 и МУ64. Предохранитель 0,2 А этих мультиметров может перегореть от источников напряжения, имеющихся в данном стенде. Мультиметр МУ60 защищен предохранителем 2 А, который не может перегореть от токов, создаваемых источниками данного стенда.

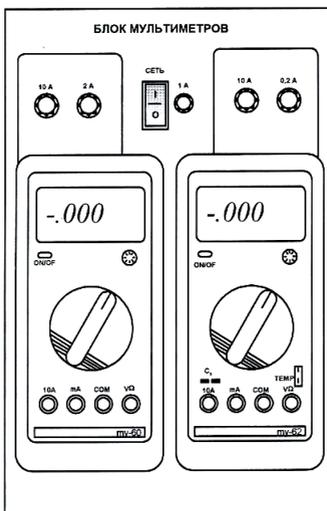


Рис. 4. Блок мультиметров

До подключения мультиметра к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- выбор измеряемой величины:  $- U$ ,  $\sim U$ ,  $- A$ ,  $\sim A$  или  $\Omega$ ;
- выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильное подсоединение зажимов мультиметра к исследуемой цепи.

Присоединение мультиметра как вольтметра, амперметра и омметра показано на рис. 5.

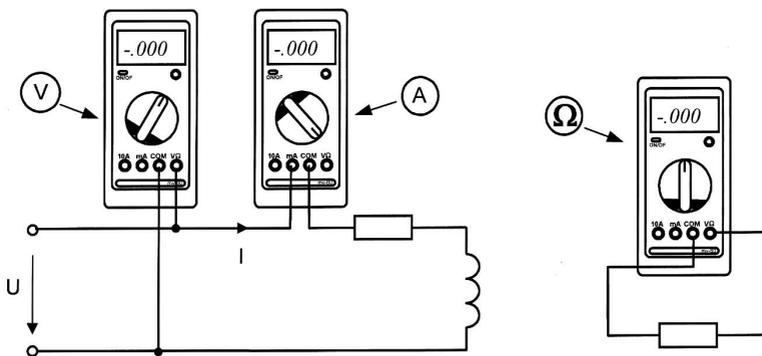


Рис. 5. Правильное подключение мультиметра для измерения напряжения, силы тока и сопротивления

# Лабораторная работа 1. Исследование свойств полупроводникового диода в составе однополупериодного выпрямителя и светодиода

## Цель работы

Целью работы является изучение выпрямительного действия полупроводникового диода в составе однополупериодного выпрямителя и светодиода.

## Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами выпрямления однофазного переменного тока в постоянный, изучить работу сглаживающего фильтра в составе однополупериодного выпрямителя, изучить свойства светодиода.
2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные приборов (тип, род тока, предел измерения, класс точности, цена деления шкалы).
3. Собрать схему и показать для проверки инженеру.
4. Выполнить измерения и произвести обработку экспериментальных результатов.
5. Составить краткие выводы по работе.

## Краткие теоретические сведения

Вентильные свойства полупроводникового элемента – диода – обуславливаются эффектом  $p$ - $n$ -перехода.

Электронно-дырочным переходом ( $p$ - $n$ -переходом) называют переходный слой между двумя областями полупроводника, одна из которых имеет электропроводность  $p$ -типа, а другая –  $n$ -типа.

Двухэлектродный полупроводниковый элемент – диод – содержит  $n$ - и  $p$ -проводящие слои (рис. 1.1).

В  $n$ -проводящем слое в качестве свободных носителей заряда преобладают электроны, а в  $p$ -проводящем слое – дырки. Существующий между этими слоями  $p$ - $n$ -переход имеет внутренний потенциальный барьер, препятствующий соединению свободных носителей заряда. Таким образом, диод заблокирован.



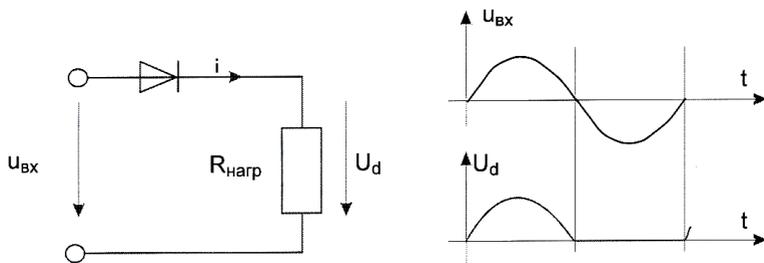


Рис. 1.2. Однополупериодная схема выпрямления напряжения и временные диаграммы

При исследовании выпрямителей применяются следующие обозначения:

- $u_{\text{вх}}, U_{\text{вх}}$  – мгновенное и действующее значения синусоидального входного напряжения;
- $u_d, U_d, U_{d\text{max}}, U_{d\text{min}}$  – мгновенное, среднее, максимальное, минимальное значения выходного (выпрямленного) напряжения;
- $f_{\text{п}}$  – частота пульсаций выходного напряжения;
- $m$  – число пульсаций выпрямленного напряжения за один период напряжения питания,  $m = f_{\text{пульс}} / f_{\text{вх}}$ ;
- $k_{\text{пульс}}$  – коэффициент пульсации выпрямленного напряжения,

$$k_{\text{пульс}} = \frac{\Delta U_{\text{пульс}}}{U_d} = \frac{U_{d\text{max}} - U_{d\text{min}}}{U_d}.$$

### *Диоды с особыми свойствами. Светодиоды*

В случаях, когда полупроводниковые диоды выполнены из таких материалов, как арсенид галлия или фосфид галлия, часть подводимой к ним электрической энергии преобразуется не в тепло, как в других полупроводниках, а в световые потоки с более короткой длиной волны. Цвет излучения определяется выбором соответствующего материала и присадками. Цвет может быть инфракрасным, красным, желтым, оранжевым, зеленым или даже голубым.

В данной работе используется одна фаза трехфазного источника напряжений.

## Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Исследовать выпрямительное действие полупроводникового диода в составе однополупериодного выпрямителя.

### Порядок выполнения эксперимента

Соберите цепь согласно схеме (рис. 1.3) сначала без сглаживающего фильтра. Включите мультиметры:  $V1$  — для измерения действующего значения синусоидального напряжения,  $V2$  — для измерения постоянного напряжения.

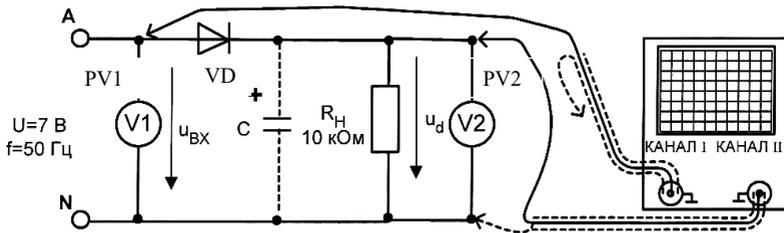
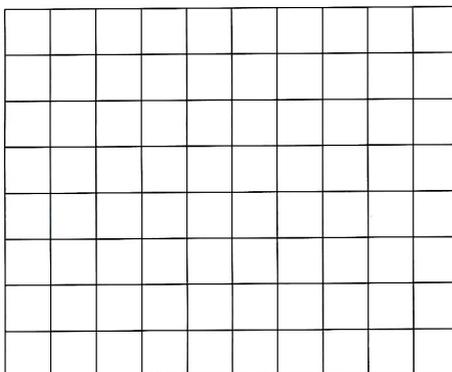


Рис. 1.3. Электрическая схема для проведения опытов

Включите и настройте осциллограф.

Установите развертку 5 мс/дел.

Перенесите на график (рис. 1.4) осциллограммы входного и выходного напряжений.



#### Масштабы

По каналу I:  
 $m_U = \dots \text{В/дел.}$

По каналу II:  
 $m_U = \dots \text{В/дел.}$

По времени:  
 $m_t = \dots \text{мс/дел.}$

Рис. 1.4. Заготовка для временных диаграмм

Сделайте измерения и запишите в табл. 1.1 значения:  $U_{\text{вх}}$  – действующее;  $U_d$  – среднее,  $\Delta U_{\text{пульс}}$  (по осциллографу),  $m = f_{\text{пульс}} / f_{\text{вх}}$ .

Рассчитайте и запишите в табл. 1.1 коэффициенты  $U_d / U_{\text{вх}}$  и  $k_{\text{пульс}}$ .

Параллельно нагрузочному резистору  $R_{\text{н}}$  подключите сглаживающие конденсаторы  $C$  с емкостями, указанными в табл. 1.1 (**не ошибитесь с полярностью при подключении электролитических конденсаторов!**), повторите измерения и дорисуйте графики выпрямленного напряжения на рис. 1.4.

Таблица 1.1

Измеренные и рассчитанные данные

$C$ , мкФ	0	1	10	100
$U_{\text{вх}}$ , В				
$U_d$ , В				
$\Delta U_{\text{пульс}}$ , В				
$m$				
$U_d / U_{\text{вх}}$ , В				
$k_{\text{пульс}}$				

### Задание 2. Изучение свойств светодиода.

Снять вольт-амперную характеристику светодиода посредством осциллографа. Изучить влияние напряжения  $U_{\text{сд}}$ , тока  $I_{\text{сд}}$  светодиода и его полярности на световую эмиссию.

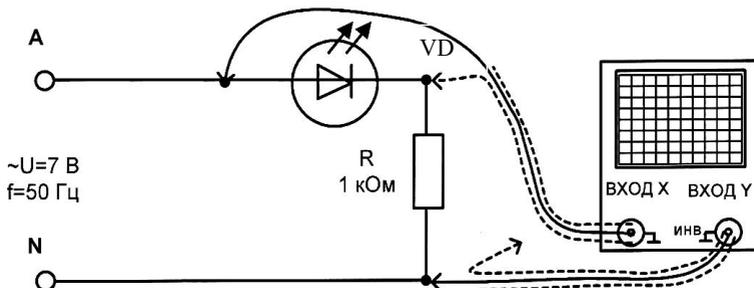


Рис. 1.5. Электрическая схема для исследования характеристик светодиода

Соберите цепь согласно схеме (рис. 1.5). Включите осциллограф в режиме  $X-Y$ , на горизонтальный вход ( $X$ ) подайте напряжение со светодиода, а на вертикальный ( $Y$ ) – напряжение с сопротивления, пропорциональное току. Включите инвертирование канала  $Y$ , чтобы положительному току соответствовало отклонение луча осциллографа вверх.

Перерисуйте осциллограмму на график (рис. 1.6).

Соберите цепь согласно схеме (рис. 1.7) и изменяйте входное напряжение последовательно с шагом 1 вольт. Измерьте прямое напряжение  $U_{сд}$  и ток  $I_{сд}$  светодиода с помощью мультиметра и установите светоизлучение (отсутствует, слабое, среднее, сильное). Занесите данные в таблицу.

Измените полярность диода и убедитесь, что светоизлучения не наблюдается.

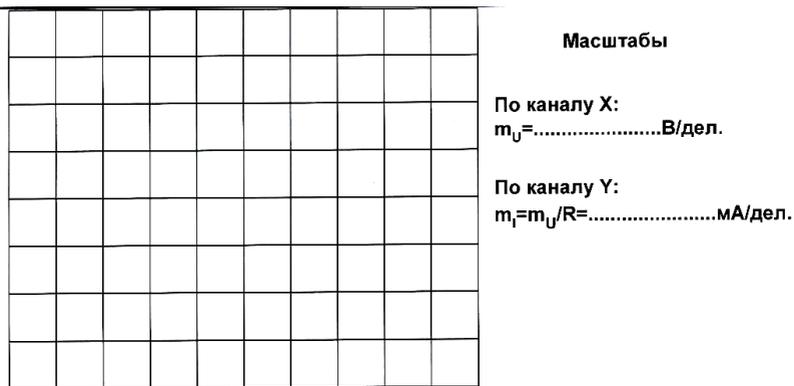


Рис. 1.6. Заготовка для временных диаграмм

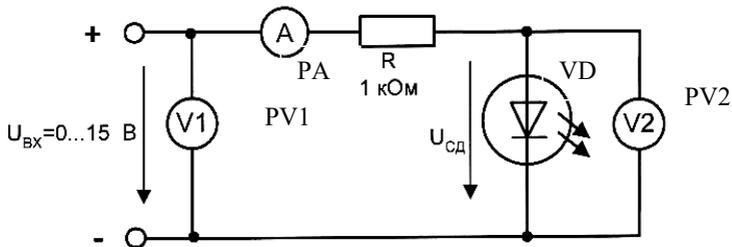


Рис. 1.7. Схема электрическая со светодиодом

## Содержание отчета

1. Наименование, цель и программа работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема лабораторной установки.
4. Описание хода работы.
5. Таблицы с экспериментальными данными, результаты обработки полученных данных.
6. Выводы по работе.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что обуславливает вентильные свойства полупроводникового диода?
2. Как называется напряжение, при котором диод становится проводящим?
3. Что называется ВАХ диода? Как она выглядит?
4. Почему максимальное значение выпрямленного напряжения  $U_{dmax}$  не совпадает с амплитудой входного напряжения?
5. Что произойдет при изменении полярности диода в цепи (рис. 1.3)?
6. Каково обратное напряжение диода в схеме со сглаживающим конденсатором?
7. Какое действие оказывает сглаживающий конденсатор на амплитуду пульсаций напряжения?
8. Какой минимальный ток необходим светодиоиду для слабого светоизлучения?
9. Как ведет себя светоизлучение при изменении полярности прикладываемого напряжения?
10. Напряжение питания светодиода 5 В. Какой добавочный резистор необходим при токе 15 мА?

## Лабораторная работа 2. Исследование характеристик биполярного транзистора

### Цель работы

Целью работы является изучение структуры, свойств и характеристик биполярного транзистора.

### Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами исследования параметров и характеристик биполярных транзисторов.
2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные приборов (тип, род тока, предел измерения, класс точности, цена деления шкалы).
3. Собрать схему и показать для проверки инженеру.
4. Измерить с помощью измерительных приборов необходимые параметры. При проведении опыта снять показания приборов и произвести обработку экспериментальных результатов.
5. Составить краткие выводы по работе.

### Краткие теоретические сведения

Транзистор (рис. 2.1) представляет собой полупроводниковый триод, у которого тонкий  $p$ -проводящий слой помещен между двумя  $n$ -проводящими слоями ( $n$ - $p$ - $n$ -транзистор) или  $n$ -проводящий слой помещен между двумя  $p$ -проводящими слоями ( $p$ - $n$ - $p$ -транзистор).

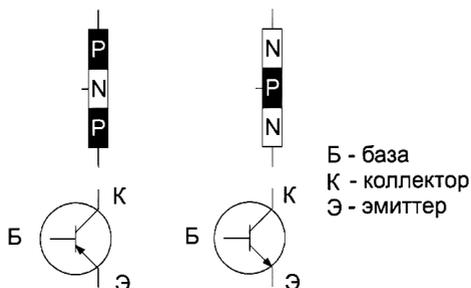


Рис. 2.1. Условное обозначение биполярного транзистора

*P-n*-переходы между средним слоем (база) и двумя крайними слоями (эмиттер и коллектор) обладают выпрямительным свойством, которое можно исследовать как в случае любого выпрямительного диода.

В транзисторе типа *p-n-p* (рис. 2.2) ток эмиттера к коллектору через базу обусловлен неосновными для базы носителями заряда — дырками. При положительном направлении напряжения  $U_{ЭБ}$  эмиттерный *p-n*-переход открывается, и дырки из эмиттера проникают в область базы. Часть из них уходит к источнику напряжения  $U_{ЭБ}$ , а другая часть достигает коллектора. Возникает так называемый транзитный ток от эмиттера к коллектору. Он резко возрастает с увеличением  $U_{ЭБ}$  и тока базы.

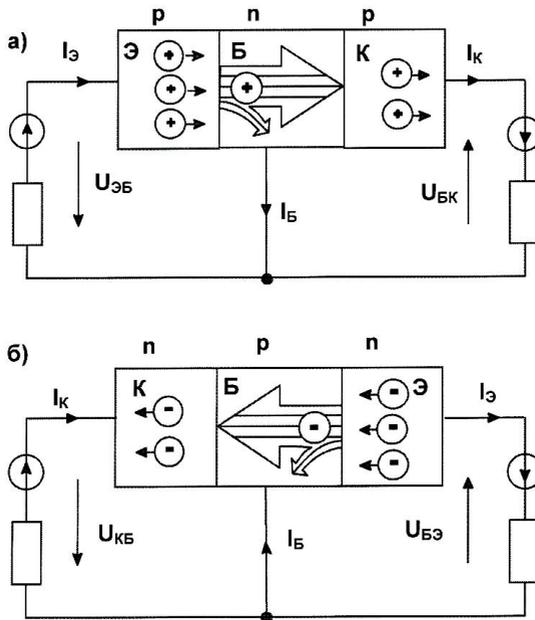


Рис. 2.2. *P-n-p*- и *n-p-n*-транзисторы

В транзисторе типа *n-p-n* (рис. 2.2, а) транзитный ток через базу обусловлен также неосновными для нее носителями заряда — электронами. Там они появляются из эмиттера, если к эмиттерному

$p$ - $n$ -переходу прикладывается напряжение  $U_{БЭ}$ , полярность которого показана на рис. 2.2, б.

Токи эмиттера, коллектора и базы связаны между собой уравнением первого закона Кирхгофа:

$$I_K = I_{Э} - I_B.$$

Обычно ток базы существенно меньше  $I_K$  и  $I_{Э}$ , но от него сильно зависит как  $I_K$ , так и  $I_{Э}$ . Отношение приращения тока коллектора к приращению тока базы называется коэффициентом усиления по току

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B.$$

Он может иметь значения от нескольких десятков до нескольких сотен. Поэтому с помощью сравнительно малого тока базы можно регулировать относительно большие токи коллектора (и эмиттера).

Свойства транзисторов описываются четырьмя семействами характеристик.

**1. Входная характеристика** показывает зависимость тока базы  $I_B$  от напряжения в цепи база/эмиттер  $U_{БЭ}$  (при  $U_{КЭ} = \text{const}$ ).

**2. Выходная характеристика** показывает зависимость тока коллектора  $I_K$  от напряжения цепи коллектор/эмиттер  $U_{КЭ}$  при различных фиксированных значениях тока базы.

**3. Характеристика управления** представляет собой зависимость тока коллектора  $I_K$  от тока базы  $I_B$  (при  $U_{КЭ} = \text{const}$ ).

**4. Характеристика обратной связи** есть зависимость напряжения цепи база/эмиттер  $U_{БЭ}$ , соответствующего различным неизменным значениям тока базы, от напряжения цепи коллектор/эмиттер  $U_{КЭ}$  при различных фиксированных значениях тока базы.

Транзисторы используются как управляющие элементы в усилительных цепях. По названию того электрода транзистора, который используется как общая точка для напряжений входного и выходного сигналов, различают три основные схемы усилителей на биполярных транзисторах:

- с общим эмиттером (ОЭ),
- с общим коллектором (ОК),
- с общей базой (ОБ).

В наиболее распространенных схемах усилителей используются  $n-p-n$ -транзисторы. Однако  $p-n-p$ -транзисторы также можно использовать, но тогда нужно изменить полярность рабочего напряжения.

### Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Исследовать влияние тока базы на вольт-амперную характеристику  $I_K(U_{ЭК})$  для  $p-n-p$ -транзистора с помощью осциллографа.

Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.3). В этой цепи между эмиттером и коллектором действуют полуволны синусоидального напряжения, а между базой и эмиттером – регулируемое постоянное напряжение. Диод  $VD1$  включён для защиты эмиттерного перехода транзистора от пробоя при неправильном подключении полярности источника постоянного напряжения, а диод  $VD2$  – для исключения обратного напряжения между эмиттером и коллектором.

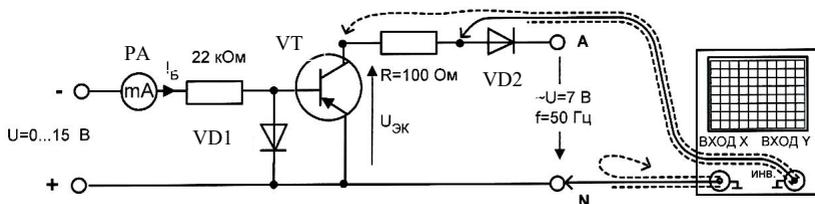


Рис. 2.3. Экспериментальная схема

Включите осциллограф, настройте усиление и установите режим  $X-Y$ . Включите инвертирование канала  $Y$  для правильного отображения полярности сигнала.

Регулируя ток базы от 0 до максимального значения и наоборот, наблюдайте за изменением кривой  $I_K(U_{КЭ})$  на осциллографе. При нескольких значениях тока базы (включая нулевое и максимальное) перерисуйте кривую  $I_K(U_{КЭ})$  с осциллографа на рис. 2.4. Не забудьте указать масштабы по осям и токи базы для каждой кривой.

На семействе кривых  $I_K(U_{КЭ})$  выберите какое-либо постоянное напряжение  $U_{КЭ}$  (например, 5 В) и на рис. 2.5 постройте зависи-



мультиметрами на пределах 200  $\mu\text{A}$  и 2 В соответственно. Пределы измерения тока коллектора  $I_K$  и напряжения  $U_{KЭ}$  изменяются в ходе работы по мере необходимости. **При сборке схемы предусмотрите перемычки для переключения амперметра из одной ветви в другую.**

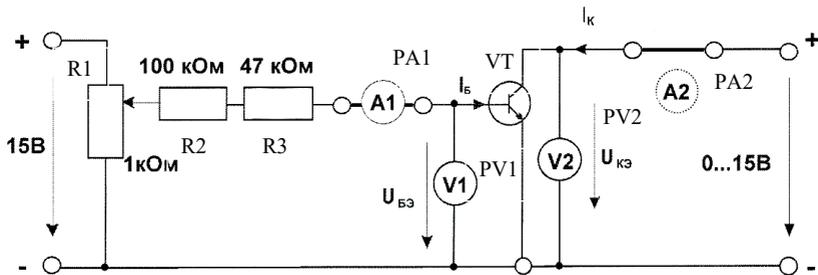


Рис. 2.6. Электрическая схема для проведения эксперимента

Установите первое значение тока базы 20  $\mu\text{A}$  и, изменяя напряжение  $U_{KЭ}$  согласно значениям, указанным в табл. 2.1, снимите зависимости  $I_K(U_{KЭ})$  и  $U_{БЭ}(U_{KЭ})$ .

Повторите эти измерения при каждом значении  $I_B$ , указанном в таблице.

*Примечание.* Характеристики транзистора изменяются в ходе работы из-за его нагрева. Поэтому для большей определенности рекомендуется установить нужные значения  $I_B$  и  $U_{KЭ}$ , выключить на 30 с блок генераторов напряжений, затем включить его и быстро записать показания приборов  $PV1$  и  $PA2$ .

Таблица 2.1

Измеренные данные

$U_{KЭ}$ , В	$I_B = 20 \text{ мкА}$		$I_B = 40 \text{ мкА}$		$I_B = 60 \text{ мкА}$		$I_B = 80 \text{ мкА}$	
	$I_K$ , мА	$U_{БЭ}$ , В						
0								
0,5								
1								
2								
5								
10								
15								

На рис. 2.7 постройте графики семейства выходных характеристик  $I_K(U_{KЭ})$  и семейства характеристик обратной связи  $U_{БЭ}(U_{KЭ})$ , не забыв указать, какому току базы соответствует каждая кривая.

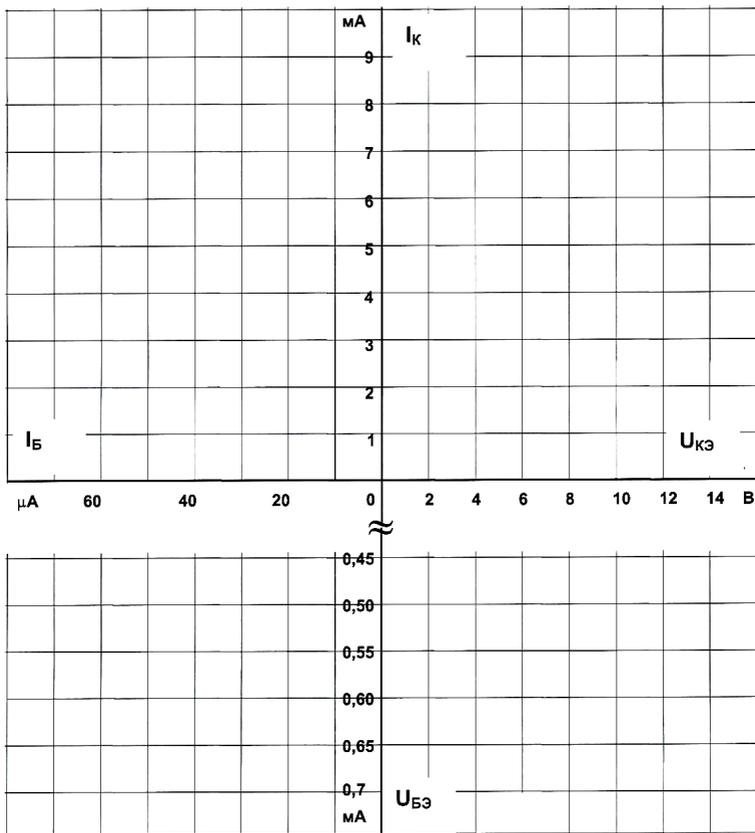


Рис. 2.7. Графики семейства выходных характеристик  $I_K(U_{KЭ})$ , семейства характеристик обратной связи  $U_{БЭ}(U_{KЭ})$ , входных  $I_Б(U_{БЭ})$  и регулировочных  $I_K(I_Б)$  характеристик

Установите  $U_{KЭ} = 0$  и, изменяя ток базы в соответствии со значениями, указанными в табл. 2.2, снимите зависимость  $U_{БЭ}(I_Б)$ . Увеличьте напряжение  $U_{KЭ}$  до 5 В и снова снимите зависимость  $U_{БЭ}(I_Б)$ , а также и  $I_K(I_Б)$ . Повторите этот опыт также при  $U_{KЭ} = 15$  В. (При проведении этих измерений также учитывайте примечание к предыдущему опыту.)

На рис. 2.7 постройте графики входных  $I_B(U_{БЭ})$  и регулировочных  $I_K(I_B)$  характеристик, указав для каждой кривой соответствующие значения  $U_{КЭ}$ .

Таблица 2.2

### Измеренные данные

$I_B$ , мкА	$U_{КЭ} = 0$ В		$U_{КЭ} = 5$ В		$U_{КЭ} = 15$ В	
	$U_{БЭ}$ , В	$I_K$ , мА	$U_{БЭ}$ , В	$I_K$ , мА	$U_{БЭ}$ , В	$I_K$ , мА
0						
5						
10						
20						
50						
80						

### Содержание отчета

1. Наименование, цель и программа работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема лабораторной установки.
4. Описание хода работы.
5. Таблицы с экспериментальными данными, результаты обработки полученных данных.
6. Выводы по работе.

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое биполярный транзистор?
2. Какие бывают структуры биполярных транзисторов?
3. В чем заключается усилительный эффект транзистора?
4. Какие бывают схемы подключения транзистора в усилительном режиме?
5. Расскажите про работу транзистора в ключевом режиме.
6. Как называются выводы у транзистора?
7. Можно ли из двух диодов получить биполярный транзистор?
8. Что называется коэффициентом усиления транзистора по току?

## Лабораторная работа 3. Исследование свойств полевого транзистора в составе усилителя

### Цель работы

Целью работы является изучение свойств полевого транзистора как управляющего элемента в составе различных схем усилителя.

### Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами исследования схем усилителей на полевых транзисторах.
2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные (тип, род тока, предел измерения, класс точности, цену деления шкалы) приборов.
3. Собрать схему и показать для проверки инженеру.
4. Измерить с помощью измерительных приборов необходимые параметры. При проведении опыта снять показания приборов и произвести обработку экспериментальных результатов.
5. Составить краткие выводы по работе.

### Краткие теоретические сведения

В полевых транзисторах (рис. 3.1) ток обеспечивается носителями заряда одного знака (электронами или дырками) и протекает по *каналу* под воздействием прикладываемого извне электрического *поля* (отсюда название транзисторов этого типа). Электроды канала принято называть *истоком* и *стоком*. Управление током транзистора осуществляется посредством электрода, называемого *затвором*, который изолирован от канала *p-n*-переходом или по-иному.

Переход между затвором и каналом полевого транзистора обладает выпрямительным действием. Хотя это и не имеет практического значения, вольт-амперную характеристику этого перехода следует знать, чтобы понимать особенности управления полевыми транзисторами.

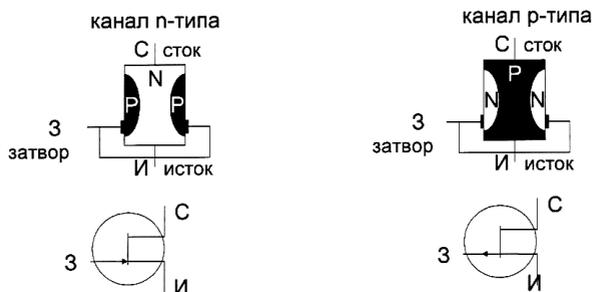


Рис. 3.1. Условное обозначение полевого транзистора

### ***Управляющий эффект затвора полевого транзистора n-типа***

Током в канале (контур «исток — сток») полевого транзистора можно управлять с помощью потенциала затвора. В отличие от биполярных транзисторов для этого не требуется мощности, так как  $p-n$ -переход между затвором и каналом остается запертым.

Входная характеристика, или характеристика управления полевого транзистора, выражает соотношение между напряжением «затвор — исток»  $U_{зи}$  и током стока  $I_C$ .

Зависимость  $I_C(U_{зи})$  называется стоко-затворной характеристикой.

Важными параметрами полевого транзистора являются крутизна на стоко-затворной характеристике  $S = \Delta I_C / \Delta U_{зи}$ , и напряжение отсечки  $U_{зи0}$ , при котором ток стока становится близким к нулю.

### ***Выходные характеристики полевого транзистора***

Выходными характеристиками полевого транзистора называют зависимости тока стока от напряжения «сток — исток» при различных фиксированных значениях напряжения «затвор — исток».

Выходные характеристики снимают без нагрузочного сопротивления в статике.

### ***Усилители на полевых транзисторах***

Полевые транзисторы могут быть использованы как управляющие элементы в различных усилительных цепях. По названию того электрода транзистора, который используется как общая точка для

напряжений входного и выходного сигналов, различают три основные схемы усилителей на полевых транзисторах:

- с общим истоком (ОИ),
- с общим стоком (ОС),
- с общим затвором (ОЗ).

### Порядок выполнения работы

**Задание.** Выполнить измерения и определить следующие электрические показатели основных схем усилителей:

- коэффициент усиления по напряжению  $\nu_U$ ,
- угол фазового сдвига  $\varphi$ ,
- входное сопротивление  $R_{\text{вх}}$ ,
- выходное сопротивление  $R_{\text{вых}}$ .

Усилители используются для усиления напряжения переменного тока. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  установлены для развязывания рабочего и управляющего напряжений.

Соберите цепь усилителя по схеме с общим истоком (рис. 3.2). При этом не перепутайте полярность подключения электролитического конденсатора  $C_3$ , который служит для исключения отрицательной обратной связи при переменном напряжении.

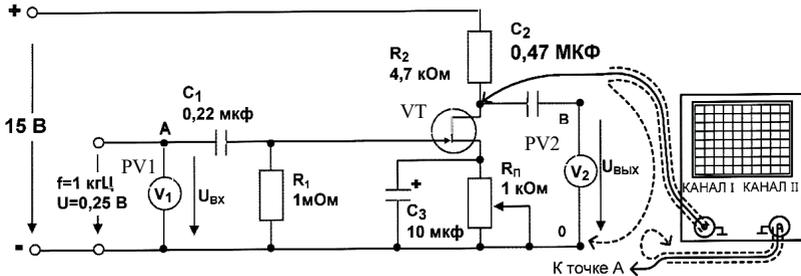


Рис. 3.2. Схема усилителя с общим истоком

Установите частоту синусоидального напряжения 1 кГц и действующее значение 200...300 мВ.

Используя потенциометр  $R_{\text{п}}$ , настройте рабочую точку транзистора так, чтобы напряжение на выходе усилителя было наименее искаженным.

Измерьте входное  $U_{\text{ВХ}}$  и выходное  $U_{\text{ВЫХ}}$  напряжения, используя мультиметры и осциллограф, и постройте их кривые на графике (рис. 3.3). Определите угол фазового сдвига этих напряжений  $\varphi$  и вычислите коэффициент усиления по напряжению, используя следующее соотношение:

$$v_U = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}$$

Далее определите входное сопротивление усилителя  $R_{\text{ВХ}}$ . Для этого включите последовательно во входную цепь усилителя (точка  $A$ ) резистор  $R_{\text{ДОБ}} = 10$  кОм. Это вызовет снижение выходного напряжения усилителя от  $U_1$  до  $U_2$ . Тогда входное сопротивление  $R_{\text{ВХ}}$  можно рассчитать следующим образом:

$$R_{\text{ВХ}} = R_{\text{ДОБ}} / (U_1 / U_2 - 1).$$

Теперь определите выходное сопротивление  $R_{\text{ВЫХ}}$ . Для этого включите нагрузочный резистор  $R_{\text{Н}} = 10$  кОм параллельно выходу усилителя (точки  $B - 0$ ). Это также вызовет снижение выходного напряжения усилителя от  $U_1$  до  $U_2$ . Выходное сопротивление можно вычислить, используя соотношение

$$R_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{Н}} / (U_1 / U_2 - 1).$$


#### Масштабы

По каналу I:  
 $m_{U_{\text{ВЫХ}}} = \dots \text{В/дел.}$

По каналу II:  
 $m_{U_{\text{ВХ}}} = \dots \text{мА/дел.}$

По времени:  
 $m_t = \dots \text{мс/дел.}$

Рис. 3.3. Заготовка для графика входного и выходного напряжения

Занесите результаты в табл. 3.1.

Соберите цепь усилителя по схеме с общим стоком (рис. 3.4). Установите действующее значение напряжения на входе 2...3 В и по-

тенциометром  $R_{\Pi}$  настройте рабочую точку транзистора по условию минимального искажения сигнала.

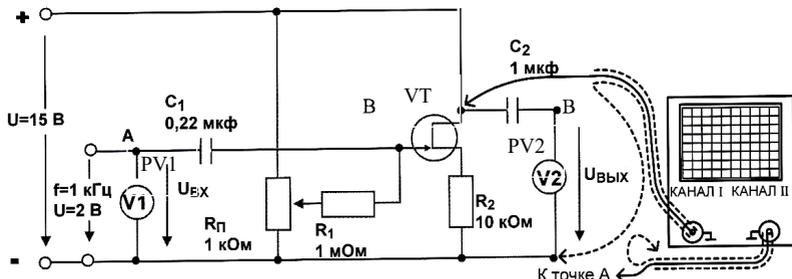
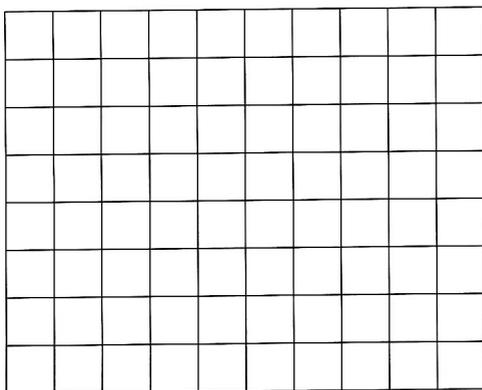


Рис. 3.4. Схема усилителя с общим стоком

Повторите описанные выше измерения, постройте кривые на графике (рис. 3.5) и занесите результаты измерений в табл. 3.1. При этом  $R_{\text{доб}} = 47 \text{ кОм}$ , а  $R_{\text{н}} = 10 \text{ кОм}$ .



**Масштабы**

По каналу I:  
 $m_{U_{\text{вых}}} = \dots \text{В/дел.}$

По каналу II:  
 $m_{U_{\text{вх}}} = \dots \text{мА/дел.}$

По времени:  
 $m_t = \dots \text{мс/дел.}$

Рис. 3.5. Заготовка для графика

Соберите цепь усилителя по схеме с общим затвором (рис. 3.6). Отрегулируйте входное напряжение так, чтобы на выходе усилителя было  $U_{\text{вых}} = 2 \dots 3 \text{ В}$ , а потенциометром  $R_{\Pi}$  добейтесь минимальных искажений этого напряжения. Повторите измерения, постройте кривые на графике (рис. 3.7) и занесите результаты в табл. 3.1. При этом  $R_{\text{доб}} = 1 \text{ кОм}$ , а  $R_{\text{н}} = 47 \text{ кОм}$ .

Измеренные данные

Параметры	С общим истоком	С общим стоком	С общим затвором
$U_{ВХ}$	0,25 В, 1 кГц	2 В, 1 кГц	0,15 В, 1 кГц
$U_{ВЫХ}$			
$\nu_U$			
$\varphi$			
$R_{ВХ}$			
$R_{ВЫХ}$			

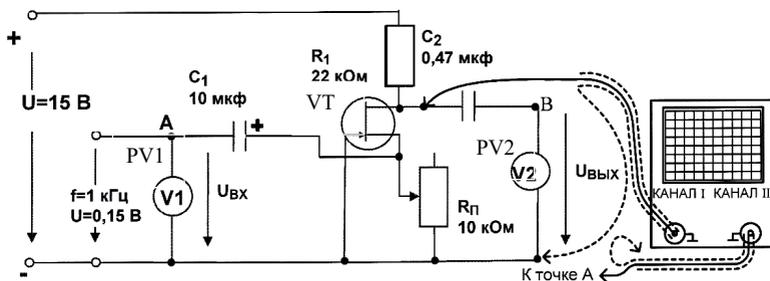
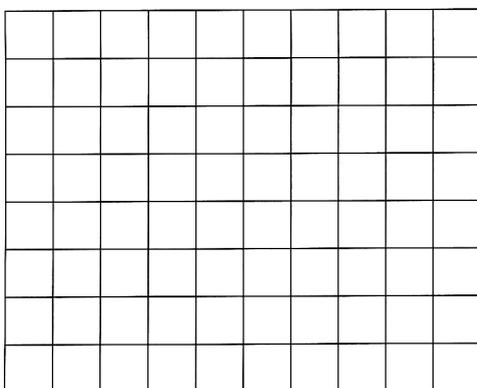


Рис. 3.6. Схема с общим затвором



**Масштабы**

По каналу I:  
 $m_{U_{ВЫХ}} = \dots \dots \dots \text{В/дел.}$

По каналу II:  
 $m_{U_{ВХ}} = \dots \dots \dots \text{мА/дел.}$

По времени:  
 $m_t = \dots \dots \dots \text{мс/дел.}$

Рис. 3.7. Заготовка для графика изменения показателей

## **Содержание отчета**

1. Наименование, цель и программа работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема лабораторной установки.
4. Описание хода работы.
5. Таблицы с экспериментальными данными, результаты обработки полученных данных.
6. Выводы по работе.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение униполярного транзистора.
2. В чем отличие полевого транзистора от биполярного?
3. Объясните принцип работы полевого транзистора.
4. Какой из трех усилителей имеет инвертирующий эффект?
5. Почему усилитель с общим стоком не имеет такой же значимости, что и усилитель с общим коллектором на биполярном транзисторе?
6. Чем усилитель с общим затвором отличается от усилителя с общим истоком?
7. Можно ли из диодов получить полевой транзистор?

## Лабораторная работа 4. Исследование свойств и характеристик тиристоров

### Цель работы

Целью работы является изучение свойств и характеристик диодного и триодного тиристоров.

### Программа работы

1. Ознакомиться с теорией и методами исследования структуры, свойств и характеристик диодного и триодного тиристоров.
2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные (тип, род тока, предел измерения, класс точности, цену деления шкалы) приборов.
3. Собрать схему и показать для проверки инженеру.
4. Измерить с помощью измерительных приборов необходимые параметры. При проведении эксперимента снять показания приборов и произвести обработку экспериментальных результатов.
5. Составить краткие выводы по работе.

### Краткие теоретические сведения

#### *Тиристоры*

**Диодный тиристор (симистор).** Диодные тиристоры, именуемые также **динисторами**, изменяют свое состояние в зависимости от приложенного напряжения и протекающего тока. При некотором граничном напряжении (напряжении отпирания) динистор переходит от состояния с высоким сопротивлением к состоянию с низким сопротивлением. Он сохраняет состояние низкого сопротивления до тех пор, пока ток в нем не упадет ниже величины тока удержания. Так называемый **симистор** (рис. 4.1) призван выполнять функции двух динисторов, включенных встречно-параллельно. Изменение состояния симистора происходит при обеих полярностях приложенного напряжения, обеспечивая прохождение тока в обоих направлениях. Симисторы и динисторы используются главным образом для включения триодных тиристоров, выпускаемых на большие токи и напряжения.

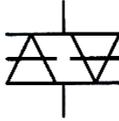


Рис. 4.1. Условное графическое обозначение симистора

**Триодный тиристор.** Триодные тиристоры, обычно называемые просто **тиристорами** (рис. 4.2), имеют четыре слоя  $p-n-p-n$ , один из которых соединен с внешним управляющим электродом (УЭ). Это позволяет приводить цепь «катод (К) – анод (А)» тиристора в открытое состояние напряжением управления, подаваемым между управляющим электродом и катодом.

Тиристор может быть также переведен в открытое состояние катодно-анодным напряжением. Однако этого способа по возможности следует избегать, чтобы не разрушить тиристор.

Будучи открытым, тиристор сохраняет проводящее состояние, даже когда напряжение на управляющем электроде выключается. Цепь «катод – анод» возвращается к запертому состоянию, когда анодный ток уменьшается ниже минимальной величины (тока удержания  $I_{уд}$ ).

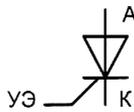


Рис. 4.2. Триодный тиристор. Условное графическое обозначение

### Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Снять статическую характеристику динистора.

Соберите цепь согласно схеме (рис. 4.3). Напряжения больше 15 В получаются при последовательном соединении регулируемого и нерегулируемого источников постоянного напряжения. Резистор 100 Ом понадобится при выполнении второго задания данной работы.

Плавно увеличивая напряжение регулируемого источника напряжения, определите напряжение отпирания динистора (это наибольшее напряжение, при котором ток еще равен нулю, при даль-

нейшем увеличении напряжения источника ток возрастает скачком, а напряжение на динисторе скачком уменьшается). Запишите значение  $U_{\text{отп}}$  в табл. 4.1.

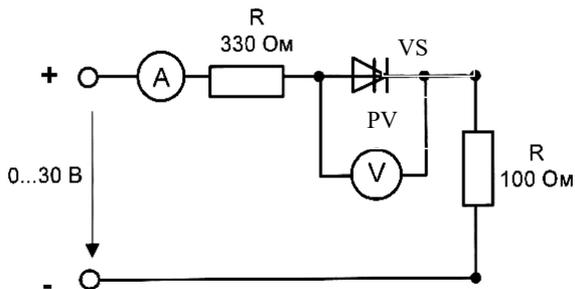


Рис. 4.3. Электрическая цепь для проведения эксперимента

Плавно уменьшая напряжение регулируемого источника напряжения, определите ток удержания динистора (это наименьшее значение тока, при котором динистор еще остается включенным, при дальнейшем снижении напряжения источника ток скачком падает до нуля, а напряжение на динисторе скачком возрастает). Запишите значение  $I_{\text{уд}}$  в табл. 4.1.

Изменяя напряжение регулируемого источника, поочередно установите значения тока, указанные в табл. 4.1, и запишите в нее соответствующие напряжения на динисторе.

Таблица 4.1

$+I$ , мА	$I_{\text{уд}}$ , мА	5	10	20	30	40	60	80
$+U$ , В	$U_{\text{отп}}$ , В							

На графике (рис. 4.4) постройте кривую зависимости тока от напряжения.

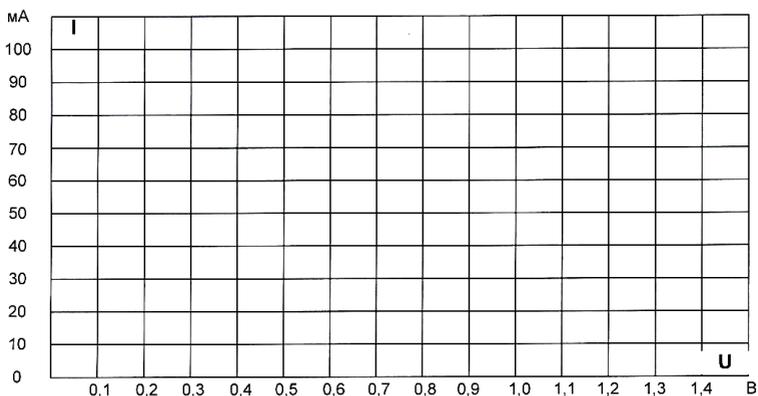


Рис. 4.4. Заготовка для построения графика

**Задание 2.** Снять начальный участок динамической характеристики динистора с помощью осциллографа.

Измените схему цепи, как показано на рис. 4.5: замените источник питания, токоограничивающий резистор и подключите осциллограф.

Включите осциллограф в режиме  $X-Y$ . На графике (рис. 4.6) отобразите характеристику, полученную на мониторе осциллографа, определите по ней напряжение включения, ток удержания, напряжение на динисторе в открытом состоянии и сравните эти величины с полученными в предыдущем опыте.

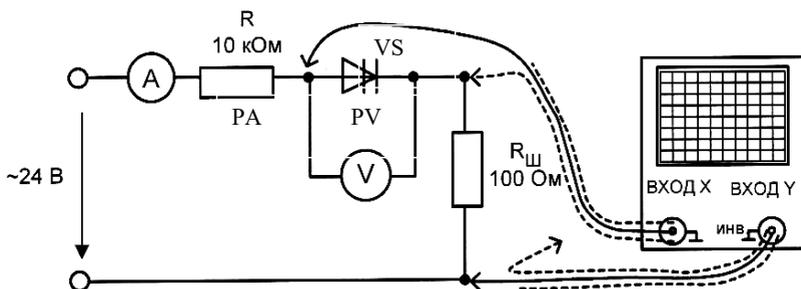
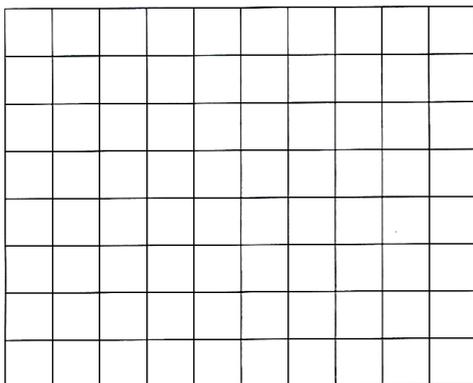


Рис. 4.5. Электрическая схема для проведения эксперимента



Масштабы

По каналу X:  
 $m_U = \dots \text{В/дел.}$

По каналу Y:  
 $m_I = m_U / R_{\text{ш}} = \dots \text{мА/дел.}$

Рис. 4.6. Заготовка для построения графика

**Задание 3.** Исследовать процессы отпирания и запираания тиристора. Снять статические вольт-амперные характеристики цепи управления и анодной цепи тиристора, а также начальный участок динамической характеристики с помощью осциллографа.

Соберите цепь, как показано на рис. 4.7, и подайте на элемент цепи «анод – катод» максимальное напряжение 15 В при напряжении на элементе «управляющий электрод – катод»  $U_{\text{ук}} = 0$  В.

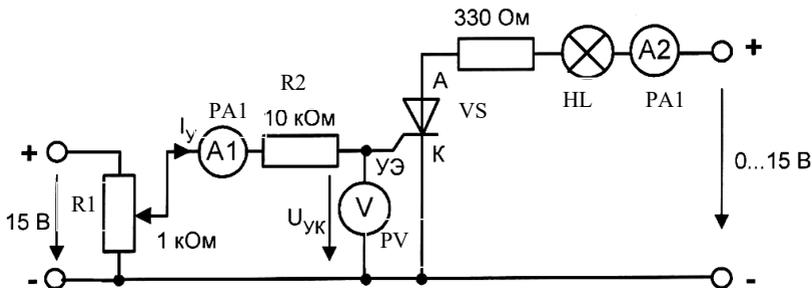


Рис. 4.7. Электрическая схема для снятия ВАХ тиристора

Увеличивайте с помощью потенциометра напряжение  $U_{\text{ук}}$  и измеряйте соответствующие значения тока управления  $I_{\text{y}}$  мультиметром A1. Занесите данные измерений в табл. 4.2. Заметьте и запишите, при каком напряжении  $U_{\text{ук}}$  отпирается тиристор (загорается лампочка).

Снижайте напряжение  $U_{\text{ук}}$  до нуля и снова записывайте значения  $I_{\text{y}}$  в табл. 4.2.

На рис. 4.8 постройте графики  $I_{\text{y}}(U_{\text{ук}})$  при увеличении и уменьшении напряжения. На графике отметьте напряжения  $U_{\text{отп}}$  и ток  $I_{\text{отп}}$ .

Таблица 4.2

### Измеренные данные

$U_{\text{ук}}, \text{В}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$I_{\text{y1}}, \text{мА}$										
$I_{\text{y2}}, \text{мА}$										

Примечание:  $I_{\text{y1}}$  – при увеличении  $U_{\text{ук}}$ ,  $I_{\text{y2}}$  – при уменьшении  $U_{\text{ук}}$ .

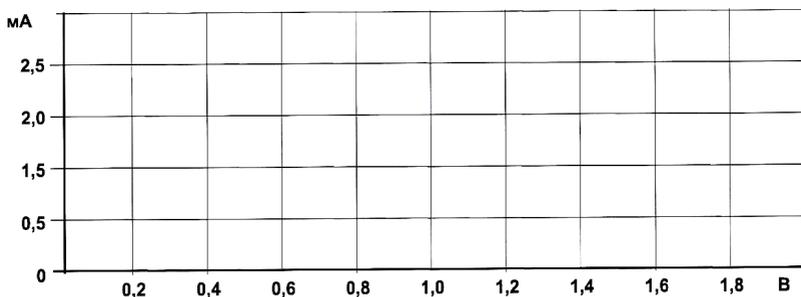


Рис. 4.8. Заготовка для построения графиков

Убедитесь, что снижение напряжения управления до нуля не приводит к выключению тиристора и что для его запираания необходимо либо кратковременно разорвать цепь, либо зашунтировать тиристор, либо снизить ток в рабочей цепи до значения меньше тока удержания.

Определите ток удержания  $I_{\text{уд}}$ . Для этого переключите миллиамперметр в цепь нагрузки ( $PA2$ ) и при нулевом токе управления плавно снижайте напряжение питания до тех пор, пока ток нагрузки скачком не упадет до нуля. Последнее значение тока перед этим скачком и есть ток удержания  $I_{\text{уд}} = \dots \text{мА}$ .

Соберите цепь (рис. 4.9) для снятия вольт-амперной характеристики  $I_A(U_{AK})$  тиристора с помощью осциллографа. Установите максимальную амплитуду синусоидального напряжения и максимальное значение постоянного напряжения 15 В.

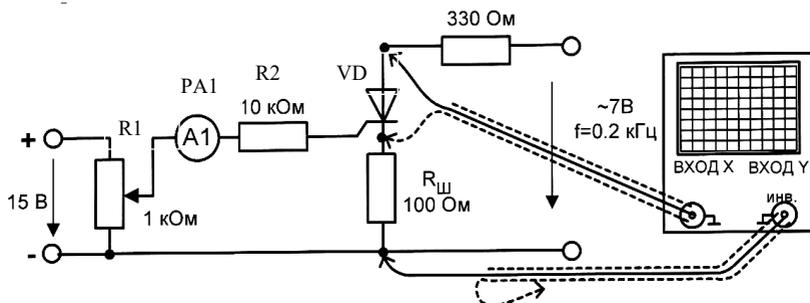


Рис. 4.9. Электрическая схема для проведения эксперимента

Включите осциллограф и получите на экране изображение одного или двух периодов тока и напряжения на тиристоре.

Снижая напряжение управления, убедитесь, что тиристор выключается, ток становится равным нулю, а напряжение на тиристоре становится синусоидальным. Увеличивая напряжение управления, убедитесь, что тиристор включается, появляется положительная полуволна тока, а напряжение имеет только отрицательную полуволну. При необходимости замените резистор с 10 на 4,7 кОм. При токе управления, близком к минимальному току отпирания, можно заметить включение тиристора при нарастании анодного напряжения.

Включите режим  $X-Y$  осциллографа, получите на экране изображение вольт-амперной характеристики  $I_A(U_{AK})$ . Проследите за ее изменением при увеличении и уменьшении тока управления и перерисуйте на график (рис. 4.10) при  $I_V > I_{отп}$ . Не забудьте указать масштабы.



Рис. 4.10. Заготовка для построения ВАХ тиристора

### Содержание отчета

1. Наименование, цель и программа работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема лабораторной установки.
4. Описание хода работы.
5. Таблицы с экспериментальными данными, результаты обработки полученных данных.
6. Выводы по работе.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какой электрический прибор называют тиристором?
2. Чем динистор отличается от триодного тиристора?
3. Чем симистор отличается от триодного тиристора?
4. Объясните принцип действия тиристора.
5. Как выглядит ВАХ динистора, триодного тиристора, симистора?
6. Каковы величины дифференциального сопротивления динистора в запертом состоянии и отпертом состояниях при токе 2...3 мА?
7. Какие причины «заставляют» динистор вернуться к запертому состоянию?
8. Запирается ли открытый тиристор, когда напряжение между клеммами «управляющий электрод» и «катод» снижается до нуля?
9. Какие свойства проявляет тиристор, работая при измененной на противоположную полярности напряжений?
10. Можно ли из двух транзисторов получить тиристор?

## **Лабораторная работа 5. Исследование свойств и характеристик операционного усилителя**

### **Цель работы**

Целью работы является изучение свойств операционного усилителя, построение зависимости выходного напряжения от входного, изучение влияния величины сопротивления нагрузки на выходное напряжение инвертирующего операционного усилителя.

### **Программа работы**

1. Ознакомиться с теорией и методами исследования структуры, свойств и характеристик операционного усилителя.
2. Ознакомиться со схемой лабораторной установки, оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать технические данные (тип, род тока, предел измерения, класс точности, цену деления шкалы) приборов.
3. Собрать схему и показать для проверки инженеру.
4. Измерить с помощью измерительных приборов необходимые параметры. При проведении эксперимента снять показания приборов и произвести обработку экспериментальных результатов.
5. Составить краткие выводы по работе.

### **Краткие теоретические сведения**

**Операционные усилители.** Операционный усилитель (рис. 5.1) представляет собой идеальный усилитель с высокоомным дифференциальным входом (два входных вывода) и очень высоким коэффициентом усиления. Фактически многие электронные устройства, выполняемые на транзисторах, могут быть также реализованы на операционных усилителях.

При подаче сигнала на неинвертирующий вход приращение выходного сигнала совпадает по знаку (фазе) с приращениями входного сигнала. Если же сигнал подан на инвертирующий вход, то приращение выходного сигнала имеет обратный знак (противоположный по фазе).



Рис. 5.1. Условное обозначение операционного усилителя

При подаче сигналов на оба входа сигнал на выходе

$$U_{\text{ВЫХ}} = v(U_1 - U_2),$$

где  $v$  – коэффициент усиления операционного усилителя,  $v \rightarrow \infty$ ;  $U_1$  и  $U_2$  – сигналы на неинвертирующем и инвертирующем входах соответственно.

Входное сопротивление операционного усилителя очень велико ( $R_{\text{ВХ}} \rightarrow \infty$ ), поэтому входной ток при расчете считается равным нулю.

Выходное сопротивление операционного усилителя весьма мало ( $R_{\text{ВЫХ}} \rightarrow 0$ ), поэтому ток нагрузки усилителя практически не влияет на его выходное напряжение.

Инвертирующий вход часто используется для введения в операционный усилитель внешних обратных связей.

**Инвертирующий усилитель.** Инвертирующий усилитель представляет собой устройство, которое преобразует входное напряжение в выходное напряжение противоположной полярности. В случае синусоидального напряжения образуется фазовременной сдвиг  $180^\circ$  между входным и выходным сигналами. Инвертирующий усилитель может быть использован для усиления или ослабления входного сигнала. Его принципиальная схема показана на рис. 5.2.

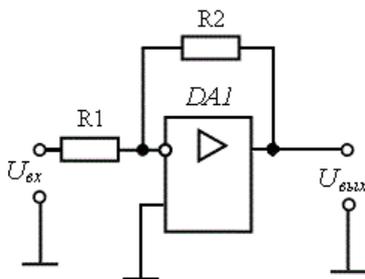


Рис. 5.2. Схема инвертирующего усилителя

Коэффициент усиления

$$\nu = -U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}} = -R_2/R_1.$$

Для упрощения расчетов делаются следующие допущения:

- в рабочем диапазоне усилителя разность потенциалов между двумя входами равна нулю;
- входной ток усилителя равен нулю;
- коэффициент усиления  $\nu = -1$  (когда  $R_{\text{ОС}} = R_{\text{ВХ}}$ ), то есть амплитуды входного и выходного сигналов равны.

**Неинвертирующий усилитель.** В операционном усилителе без инвертирования входное и выходное напряжения имеют одинаковую полярность, то есть фазовый сдвиг по напряжению равен  $0^\circ$ .

Как показано на принципиальной схеме (рис. 5.3), входное напряжение подается на неинвертирующий вход. В диапазоне модуляции усилителя разность потенциалов между двумя входами равна нулю.

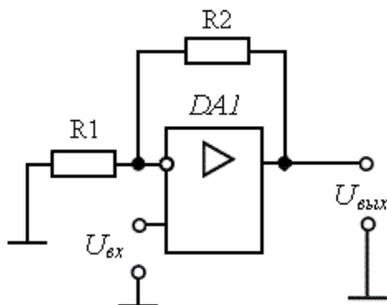


Рис. 5.3. Схема неинвертирующего операционного усилителя

Коэффициент усиления вычисляется по формуле

$$\nu = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}} = 1 + R_2/R_1.$$

**Операционный дифференциальный усилитель.** Дифференциальный усилитель (рис. 5.4) представляет собой элемент вычитания с усилением. Оба входных напряжения усиливаются с одним и тем же коэффициентом усиления. Ослабление синфазного сигнала удовлетворительно, только когда коэффициенты усиления по обоим входам одинаковы, т. е.  $R_{\text{ВХ1}} = R_{\text{ВХ2}} = R_{\text{ВХ}}$  и  $R_{\text{ОС1}} = R_{\text{ОС2}} = R_{\text{ОС}}$ .

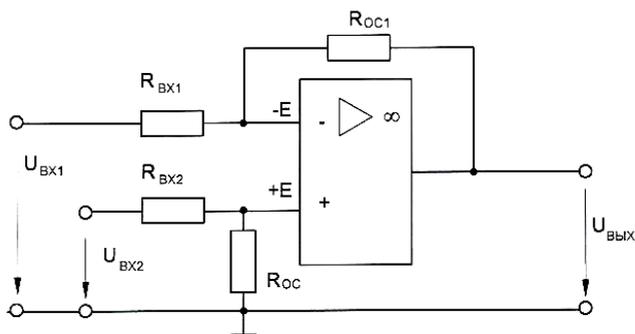


Рис. 5.4. Схема дифференциального операционного усилителя

Тогда

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_{\text{ВХ2}} - U_{\text{ВХ1}}), R_{\text{OC}} / R_{\text{ВХ}}.$$

Ослабление синфазного сигнала ухудшается при увеличении коэффициента усиления  $R_{\text{OC}} / R_{\text{ВХ}}$ .

Операционные дифференциальные усилители применяются, например, как измерительные усилители.

**Поведение операционного усилителя в динамике.** Операционные усилители представляют собой широкополосные усилители напряжения постоянного тока, которые в определенном частотном диапазоне усиливают также и напряжения переменного тока.

Зависимость коэффициента усиления от частоты  $\nu(\omega)$  называется амплитудно-частотной характеристикой усилителя. Она зависит как от внешних сопротивлений и емкостей, подключаемых к операционному усилителю, так и от «паразитных» сопротивлений и емкостей внешних проводников и внутренней схемы самого операционного усилителя.

Операционные усилители используются в схемах фильтров, интегрирующих и дифференцирующих цепей и других устройств.

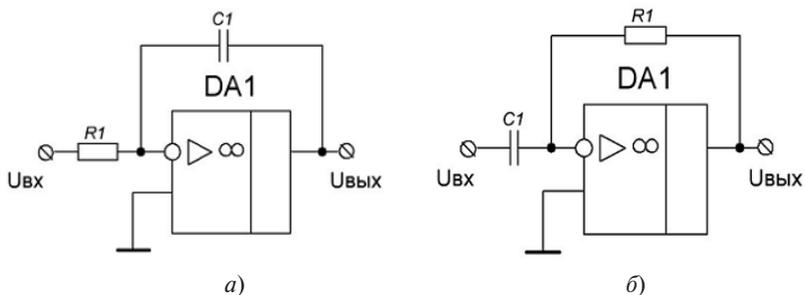


Рис. 5.5. Простейшие схемы: *а* – интегрирующего усилителя (фильтра низких частот); *б* – дифференцирующего усилителя (фильтра высоких частот)

### Порядок выполнения работы

**Задание.** Построить кривую, показывающую зависимость выходного напряжения от входного, изучить влияние величины сопротивления нагрузки на выходное напряжение инвертирующего усилителя.

Соберите цепь, как показано на рис. 5.6. С помощью мультиметра измерьте величины выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  при различных сопротивлениях отрицательной обратной связи  $R_2 = R_{\text{OC}}$  и входных напряжениях  $U_{\text{ВХ}}$  согласно табл. 5.1.

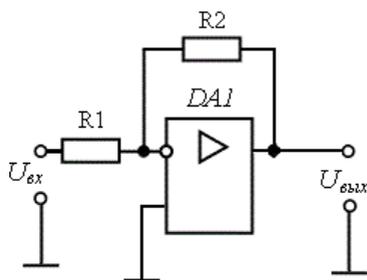


Рис. 5.6. Схема масштабирующего усилителя на операционном усилителе

## Измеренные данные

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
$U_{\text{вых}}, \text{ при } R_{\text{ос}} = 10 \text{ кОм}$											
$U_{\text{вых}}, \text{ при } R_{\text{ос}} = 22 \text{ кОм}$											
$U_{\text{вых}}, \text{ при } R_{\text{ос}} = 47 \text{ кОм}$											

Занесите результаты измерений в табл. 5.1. На графике (рис. 5.7) постройте кривые зависимостей  $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$  при различных сопротивлениях отрицательной обратной связи  $R_{\text{ос}}$ .

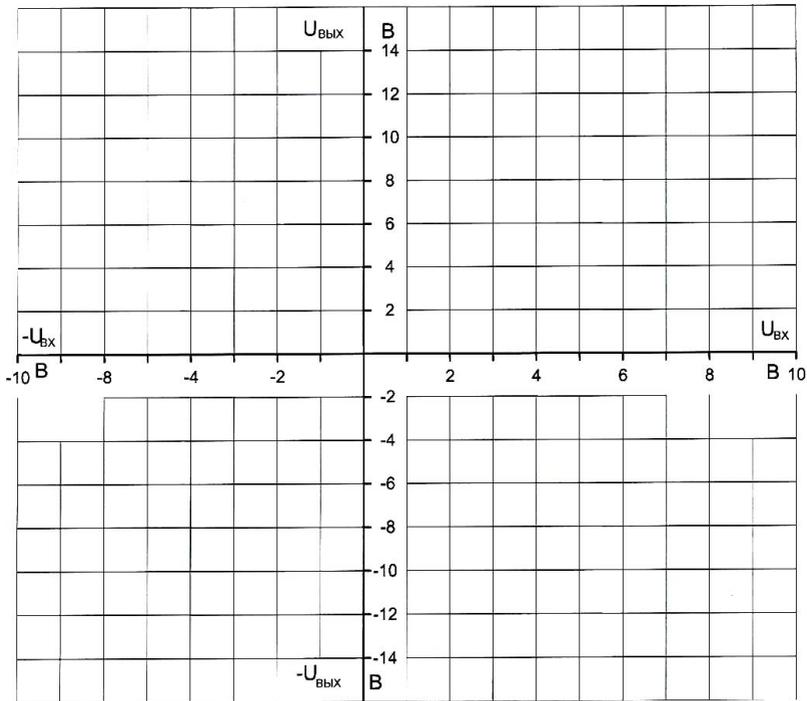


Рис. 5.7. Заготовка для построения зависимостей

Для изучения влияния сопротивления нагрузки установите входное напряжение  $U_{\text{вх}} = -5 \text{ В}$ , а  $R_{\text{ос}} = R_{\text{вх}} = 10 \text{ кОм}$ . Подсоедините

к выходу усилителя (рис. 5.8) поочередно различные сопротивления нагрузки согласно табл. 5.2 и измерьте мультиметром результирующие выходные напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$ .

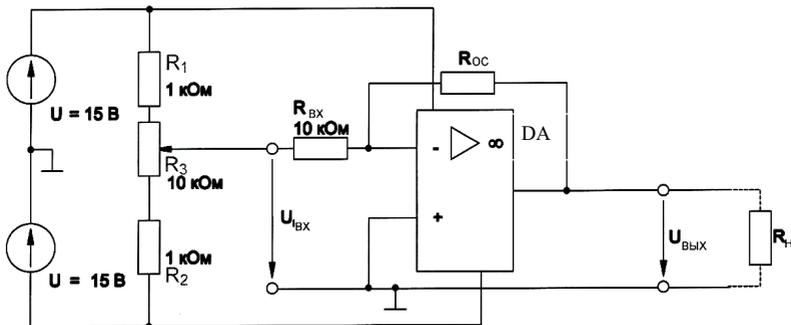


Рис. 5.8. Электрическая схема усилителя

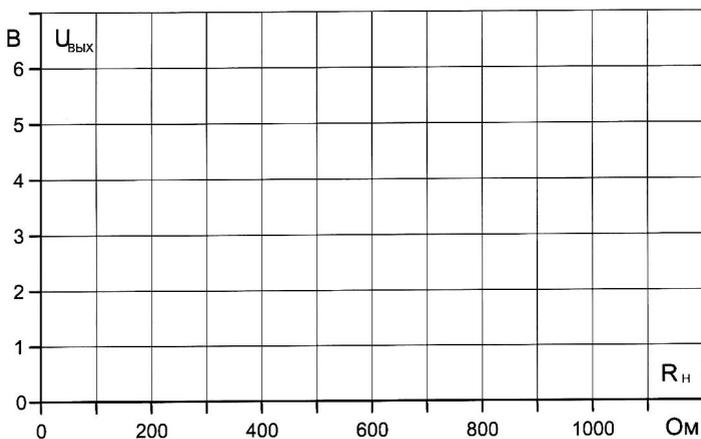


Рис. 5.9. Заготовка для построения зависимостей

Занесите результаты измерений в табл. 5.2 и затем постройте на графике (рис. 5.9) кривую зависимости выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  от сопротивления нагрузки  $R_{\text{Н}}$ .

## Результаты измерений

$R_n$ , Ом	1000	680	470	330	220	100	47
$U_{\text{ВЫХ}}$ , В							

**Содержание отчета**

1. Наименование, цель и программа работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Принципиальная схема лабораторной установки.
4. Описание хода работы.
5. Таблицы с экспериментальными данными, результаты обработки полученных данных.
6. Выводы по работе.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Какой прибор называют операционным усилителем?
2. Чему равен коэффициент усиления операционного усилителя?
3. Нарисуйте основные схемы усилителей с операционным усилителем.
4. Нарисуйте схемы, в которых операционный усилитель может выполнять некоторые математические операции.
5. Какова полярность входного напряжения  $U_{\text{ВХ}}$  инвертирующего усилителя по сравнению с выходным напряжением  $U_{\text{ВЫХ}}$ ?
6. Какие компоненты определяют коэффициент усиления инвертирующего усилителя?
7. Какова величина коэффициента усиления при  $R_{\text{ОС}} \approx 100$  кОм и  $R_{\text{ВХ}} = 10$  кОм?
8. Можно ли собрать операционный усилитель из электрических элементов?

*Пример оформления титульного листа*

ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Институт химии и энергетики  
Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

Отчет о лабораторной работе № 1

Исследование свойств полупроводникового диода  
в составе однополупериодного выпрямителя и светодиода  
по дисциплине «Информационно-измерительные приборы  
в электроэнергетике»

Студент: Иванов А.В.

Группа: ЭЭТб-1601 б

Преподаватель: Петров Д.А.

Тольятти 202\_\_ г.