

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
«РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ КОЛЛЕДЖ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ,
ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
(ГБПОУ РО «РКРИПТ»)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ (ЛАБОРАТОРНЫХ) РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

ОП.05 ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Специальность:

11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт
электронных приборов и устройств

Квалификация выпускника:

Специалист по электронным приборам и устройствам

Форма обучения: очная

Ростов-на-Дону
2023

СОГЛАСОВАНО

Начальник методического отдела

 Н.В. Вострякова
«28» марта 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора

по учебно-методической ра-боте

 С.А. Будасова
«28» марта 2023 г.

ОДОБРЕНО

Цикловыми комиссиями радиоэлектроники

и технического обслуживания

радиоэлектронной техники

Пр. № 2 от «1» февраля 2023 г.

Председатель ЦК

 В.Ю. Махно

Методические указания по выполнению практических (лабораторных) работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.05 Электронная техника для специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств.

Разработчик(и):

Скоробогатов М.Н. – преподаватель ГБПОУ РО «РКРИПТ»

Колпакова Т.И. – преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ»

Рецензенты:

Анисимова Н.Э. –преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ»

Маскаев Е.Н. – главный конструктор АО «Алмаз»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Инструкция по эксплуатации лабораторного оборудования	7
Лабораторная работа «Исследование выпрямительного диода, диода Шоттки, светодиода»	9
Отчет к лабораторной работе	13
Лабораторная работа «Исследование кремниевых стабилитронов»	16
Отчет к лабораторной работе	19
Лабораторная работа «Исследование варикапа»	21
Отчет к лабораторной работе	25
Лабораторная работа «Исследование туннельного диода»	27
Отчет к лабораторной работе	30
Лабораторная работа «Исследование фотодиода и фоторезистора»	32
Отчет к лабораторной работе	35
Лабораторная работа «Исследование биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером»	37
Отчет к лабораторной работе	45
Лабораторная работа «Исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером»	47
Отчет к лабораторной работе	55
Лабораторная работа «Исследование ключа на биполярном транзисторе»	58
Отчет к лабораторной работе	63
Лабораторная работа «Исследование полевого транзистора»	65
Отчет к лабораторной работе	69
Лабораторная работа «Исследование тиристоров»	71
Отчет к лабораторной работе	75
Лабораторная работа «Измерение основных показателей качества усилителей»	77
Отчет к лабораторной работе	81
Лабораторная работа «Изучение влияния обратной связи на показатели качества усилителей»	84
Отчет к лабораторной работе	88
Лабораторная работа «Исследование работы RC-генератора»	91
Отчет к лабораторной работе	96
Лабораторная работа «Исследование работы логических элементов»	99
Отчет к лабораторной работе	104
Лабораторная работа «Измерение основных характеристик и параметров элемента ТТЛ и ТТЛШ»	106
Отчет к лабораторной работе	112
Лабораторная работа «Измерение основных характеристик и параметров базового элемента КМОП»	114
Отчет к лабораторной работе	119
Лабораторная работа «Исследование логических интегральных микросхем типа ЭСЛ»	121
Отчет к лабораторной работе	125
Лабораторная работа «Исследование работы инвертирующего и неинвертирующего усилителя»	127
Отчет к лабораторной работе	137
Лабораторная работа «Исследование работы операционного усилителя»	143
Отчет к лабораторной работе	149

Перечень лабораторных занятий по дисциплине «Электронная техника»

для специальности 11.02.16 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств»

Лабораторная работа № 1 «Исследование выпрямительного диода, диода Шоттки, светодиода»

Лабораторная работа № 2 «Исследование кремниевых стабилитронов»

Лабораторная работа № 3 «Исследование варикапа»

Лабораторная работа № 4 «Исследование биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером»

Лабораторная работа № 5 «Исследование ключа на биполярном транзисторе»

Лабораторная работа № 6 «Исследование полевого транзистора»

Лабораторная работа № 7 «Исследование тиристор»

Лабораторная работа № 8 «Измерение основных показателей качества усилителей»

Лабораторная работа № 9 «Изучение влияния обратной связи на показатели качества усилителей»

Лабораторная работа № 10 «Исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером»

Лабораторная работа № 11 «Исследование работы RC-генератора»

Лабораторная работа № 12 «Исследование работы инвертирующего и неинвертирующего усилителя»

Лабораторная работа № 13 «Исследование работы операционного усилителя»

Введение

Лабораторные занятия по учебной дисциплине ОП.05 «*Электронная техника*» составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки и направлены на подтверждение теоретических положений и формирование практических умений и практического опыта:

- У 1 - определять и анализировать основные параметры электронных схем ;

-У 2 -определять работоспособность устройств электронной техники;

- У 3 - производить подбор элементов электронной аппаратуры позаданным параметрам.

ПК 1.1 Осуществлять сборку, монтаж и демонтаж электронных приборов и устройств в соответствии с требованиями технической документации;

ПК 1.2 Осуществлять сборку, монтаж и демонтаж электронных приборов и устройств и их настройку и регулировку в соответствии с требованиями технических условий.

ПК 2.1 Производить диагностику работоспособности электронных приборов и устройств;

ПК 2.2 Осуществлять диагностику аналоговых, импульсных, цифровых и со встроенными микропроцессорными системами устройств средней сложности для выявления и устранения неисправностей и дефектов;

ПК 3.1 Разрабатывать структурные, функциональные и принципиальные схемы простейших электронных приборов и устройств;

ПК 3.2 Разрабатывать проектно-конструкторскую документацию печатных узлов электронных приборов и устройств и микросборок средней сложности

Лабораторные занятия относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами лабораторных работ направлено:

– на обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;

– формирование умений применять полученные знания на практике;

– выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

Содержанием лабораторных работ по дисциплине являются экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения измерений. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки работы с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости,

делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Содержание лабораторных занятий охватывают весь круг профессиональных умений, на подготовку к которым ориентирована данная дисциплина, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются практикой по профилю специальности и преддипломной практикой.

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных учебных лабораториях. Продолжительность занятия – не менее 2-х академических часов. Необходимыми структурными элементами занятия, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения работы.

Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.

Выполнению лабораторных работ предшествует проверка знаний студентов, их теоретической готовности к выполнению задания.

Лабораторные работы студенты выполняют под руководством преподавателя. При проведении лабораторных занятий учебная группа может делиться на подгруппы численностью не менее 8 человек. Объем заданий для лабораторных занятий спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством студентов.

Формы организации работы обучающихся на лабораторных работах занятий: групповая и индивидуальная.

При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек. При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Отчет по лабораторной работе представляется в формате, предусмотренном шаблоном отчета по лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме ответов обучающегося на вопросы преподавателя по выполненной работе.

Оценки за выполнение лабораторных работ занятий могут выставляться по пятибалльной системе или в форме зачета и учитываться как показатели текущей успеваемости студентов.

Критерии оценки лабораторных работ.

Критерии оценки наблюдения за выполнением лабораторной работы:

- **оценка «отлично»** выставляется, если в ходе выполнения лабораторной работы обучающийся соблюдает порядок выполнения работы согласно методическим указаниям, проявляет самостоятельность, знание измерительных приборов и умение пользоваться ими, соблюдает требования правил техники безопасности;

- **оценка «хорошо»** выставляется, если обучающийся не всегда проявляет самостоятельность, но умеет пользоваться измерительными приборами, соблюдает требования правил техники безопасности;

- **оценка «удовлетворительно»** выставляется, если обучающийся не всегда проявляет самостоятельность при выполнении лабораторной работы, не всегда умеет пользоваться измерительными приборами, соблюдает требования правил техники безопасности;

- **оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если обучающийся не проявляет самостоятельности при выполнении работы, не умеет пользоваться измерительными приборами.

Критерии оценки выполнения отчета и защиты лабораторной работы:

- **оценка «отлично»** выставляется, если даны правильные ответы на все вопросы в пособии по лабораторной работе, правильно оформлен отчет, все расчеты выполнены без ошибок, сделаны правильные выводы в отчете;

- **оценка «хорошо»** выставляется, если даны правильные ответы не на все вопросы в пособии по лабораторной работе, правильно оформлен отчет, расчеты выполнены с незначительными математическими ошибками, не по всем предложенным вопросам в отчете сделаны выводы;

- **оценка «удовлетворительно»** выставляется, если даны правильные ответы не на все вопросы в пособии по лабораторной работе, отчет оформлен правильно, расчеты сделаны с грубыми ошибками, выводы в отчете неполные;

- **оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если не даны правильные ответы на вопросы в пособии по лабораторной работе, отчет оформлен с ошибками, расчеты не сделаны, выводы в отчете не сделаны.

Инструкция по эксплуатации лабораторного оборудования

1. Эксплуатация лабораторного стенда СЛИ-1

Вводная часть

Прежде чем приступить к выполнению комплекса лабораторных работ, необходимо провести занятие по технике безопасности и изучить со студентами устройство, технические характеристики стенда СЛИ-1, а также общие положения настоящего руководства.

В дальнейшем, для обеспечения безотказной работы стенда, рекомендуется соблюдать предлагаемые методику и порядок выполнения лабораторных работ.

Правила безопасности при работе со стендом

1. Перед началом работы стенд должен быть заземлен.
2. Запрещается подключать стенд неисправной вилкой включения сети.
3. Запрещается подключать исследуемые приборы в гнезда и панели, а также отключать их и производить коммутацию исследуемой схемы при включенном напряжении питания.
4. Запрещается вскрывать стенд при включенном напряжении сети, а также работать на разобранном стенде.
5. Запрещаются другие подключения модуля, кроме установленных разъемов.
6. В стенде применять только калиброванные предохранители на ток 1А.

Общие положения при работе со стендом

До включения стенда в сеть необходимо:

- ознакомиться с устройством стенда;
- выбрать модуль на заданную лабораторную работу и установить его в стенд посылкой по направляющим вперед до упора;

- установить пределы измерения вольтметров V1 и V2 на 250 В, а амперметров mA1 и mA2 на 500 mA. Значения пределов измерения для каждого электронного прибора устанавливаются преподавателем;
 - ручки «Грубо» и «Плавно» регулировки входного напряжения на ПУ1 и ПУ2 установить в крайнее левое положение;
 - представить преподавателю или лаборанту готовность стенда к работе и форму отчета;
 - приступить к выполнению лабораторных работ в соответствии с настоящим руководством.
- Примечание:* извлечение верхнего модуля из разъема производится нажатием вперед нижнего.

2. Эксплуатация исследовательской платформы NI ELVIS

В лабораторном практикуме часть лабораторных работ проводится с использованием технологии виртуальных приборов. Виртуальный прибор (ВП) в учебной лаборатории – это средство измерений, представляющее собой, как правило, персональный компьютер, снабженный дополнительно специальным прикладным программным обеспечением и различными измерительными устройствами, например, многофункциональной платой ввода-вывода.

Для выполнения работ практикума потребуется базовый лабораторный стенд, включающий современный персональный компьютер (ПК) с операционной системой Windows XP или более старших версий, лабораторную станцию NI ELVIS II компании National Instruments, а также оригинальное прикладное программное обеспечение, разработанное в среде LabVIEW.

Стенд комплектуется лабораторной платой, на которой собраны исследуемые схемы (лабораторные модули). При выполнении работ лабораторная плата устанавливается взамен макетного коннектора лабораторной станции. Внешний вид лабораторной станции NI ELVIS II с установленной лабораторной платой показан на рис. 1.

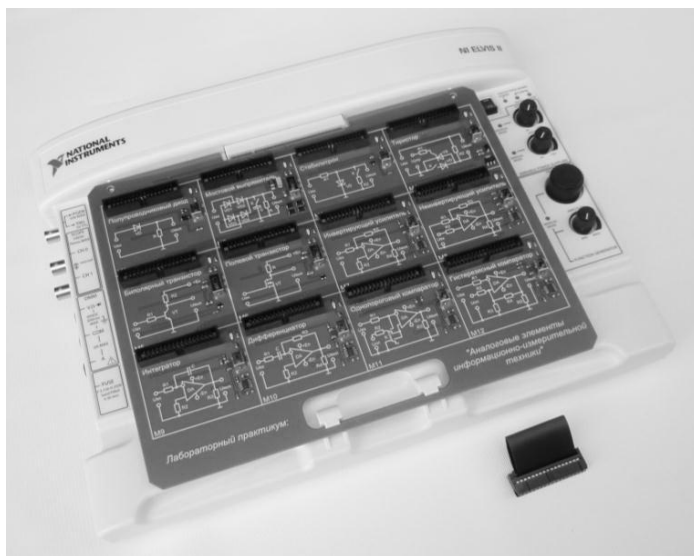


Рис.1. Внешний вид лабораторной станции NI ELVIS с установленной лабораторной платой

При подготовке к выполнению работ необходимо в первую очередь ознакомиться с основами теории, изложенными в разделе «**Краткие теоретические сведения**», сопровождающем каждую работу. При необходимости следует воспользоваться литературой, список которой приведен в конце описания лабораторной работы.

Для выполнения лабораторной работы, прежде всего, необходимо включить соответ-

ствующий лабораторный модуль. Для этого в двухрядный разъем выбранного лабораторного модуля нужно установить ключ (рис. 1), представляющий собой ответную часть разъема с замыкающими перемычками. В результате соединения соответствующих контактов разъема к схеме лабораторного модуля подключаются сигнальные линии и цепи питания лабораторной станции. При включении питания лабораторной станции справа от разъема с установленным ключом загорится светодиод.

После включения лабораторного стенда и запуска компьютера необходимо открыть папку с программным обеспечением практикума и загрузить программу лабораторной работы (двойной щелчок на имени файла «*Labn(Mk).vi*», где **n** – номер работы, **k** – номер лабораторного модуля). На экране монитора откроется окно, фрагмент верхней части которого показан на рис. 2. Запуск программы осуществляется нажатием на кнопку **RUN** с изображением стрелки .

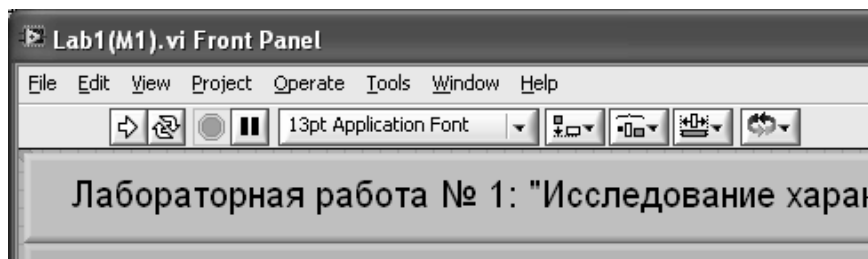


Рис. 2. Внешний вид окна программы LabVIEW

В процессе выполнения лабораторной работы необходимо последовательно выполнить все указания, приведенные в разделе «**Порядок проведения работы**». Результаты измерений и наблюдений можно заносить в отчет сразу же по мере их получения. Графики и осциллограммы можно скопировать в буфер обмена командой «Copy Data» из контекстного меню графического индикатора, а затем в текстовом редакторе MS Word вставить из буфера обмена на страницу электронного отчета.

При выполнении заданий лабораторного практикума следует ориентироваться на указанные в тексте и на лицевой панели ВП (под изображением электрической принципиальной схемы) значения параметров электронных компонентов. Значения отдельных параметров, а также электрические соединения в схеме на экране компьютера могут меняться при изменении положения переключателей, установленных на лабораторных модулях.

Лабораторная работа № _____

«Исследование выпрямительного диода, диода Шоттки, светодиода»

1. Цель работы: изучение свойств диодов путем снятия вольт-амперных характеристик и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- платформа NI ELVIS II;
- исследуемые диоды;
- ПК.

3. Краткие теоретические сведения

Полупроводниковые выпрямительные диоды имеют один р-п переход и обладают односторонней проводимостью. Свойства (параметры) диодов зависят от полупроводникового материала.

По конструкции р-п перехода различают **плоскостные** и **точечные** диоды. Плоскостные диоды используются в низкочастотном диапазоне как выпрямительные; точечные — в высокочастотном диапазоне, так как обладают малой барьерной емкостью. Как известно, барьерная емкость может шунтировать р-п переход, поэтому на высоких частотах ее величину ста-

раются сделать небольшой. В лабораторной работе так же будут исследоваться светодиоды и диоды Шоттки.

Для снятия вольтамперных характеристик выпрямительных диодов используются схемы, представленные на рисунке 1, диод Шоттки - схема (рис 2), светодиодов – (рис 3).

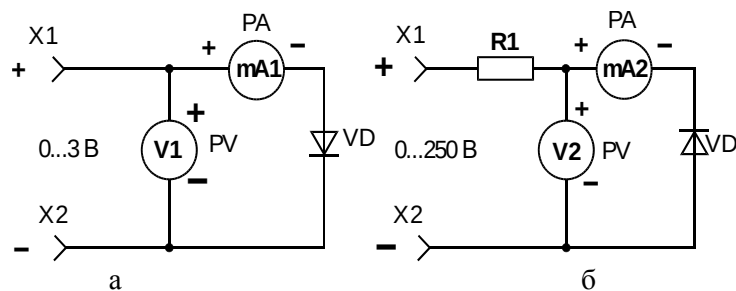


Рис. 1. Схема измерения ВАХ:
а – прямой ток, б – обратный ток

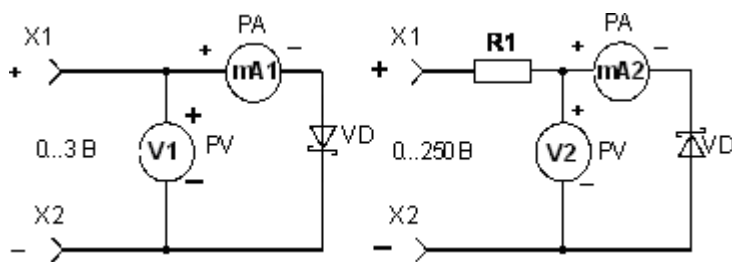


Рис. 2. Схема измерения ВАХ диода Шоттки:
а – прямой ток, б – обратный ток

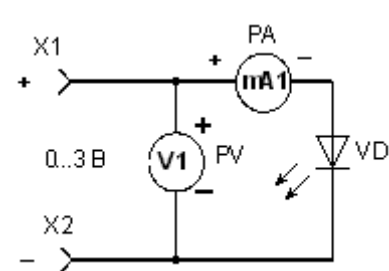


Рис. 3. Схема измерения ВАХ светодиода:
(прямой ток)

Эти схемы в платформе NI ELVIS II реализованы программным путем с использованием виртуальных приборов. Если использовать программу 2-Wire, то на экране монитора сразу видим прямую ветвь вольтамперной характеристики.

4. Порядок проведения работы

- 4.1. Познакомиться с конструкцией диодов, маркировкой и справочными данными.
- 4.2. Включить питание рабочей станции выключателем на задней панели, о наличии напряжения сигнализирует индикаторный светодиод “Active”.
- 4.3. Для исследования вольт-амперной характеристики установить диод в гнезда контактной площадки DUT- и DUT+ соблюдая полярность («DUT+»-анод, «DUT-»-катод).
- 4.4. Запустить панель приборов «NI ELVISmx Instrument Launcher» (ярлыком на рабочем столе).
- 4.5. В окне панели приборов «NI ELVISmx Instrument Launcher» запустить «2-Wire».
- 4.6. В открывшемся окне 2-WIRE установить пороговые значения токов «Current Limits» согласно справочным данным.
- 4.7. Далее в поле Settings установите пределы изменения напряжения от начального (Start) до конечного (Stop), шаг изменения напряжения (Increment), исходя из значений табл. 1 и 2.
- 4.8. Подать питание на макетную плату выключателем «Power» на лицевой панели.
- 4.9. Далее в окне «2-WIRE» нажать кнопку RUN.
- 4.10. Если все значения были установлены правильно, то на экране появиться прямая ветвь вольтамперной характеристики исследуемого диода (Для получения точных данных I и U используйте курсор, поставив галочку «Cursor on»).
- 4.11. Заполнить таблицы.

Таблица 1 Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода и диода Шоттки

U (В)		0	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ImA	Ge Д2Г													
	Si Д223													
	Шоттки КД923А													

Таблица 2 Вольт-амперная характеристика светодиода.

U(В)		0	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
красный	АЛ307БМ							
зеленый	АЛ307ВМ							

$$R_0 = \frac{U}{I}, \text{Ом}; \quad R_{\text{дин}} = \frac{\Delta U}{\Delta I}, \text{Ом}.$$

5. Содержание отчета: название, цель работы, схемы измерений, таблицы измерения, ВАХ диодов в одной системе координат, расчеты сопротивления диодов на постоянном и переменном токе, выводы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Объясните маркировку и условные обозначения полупроводниковых диодов – выпрямительных, импульсных и светодиодов.

6.2. В чем заключается вентильное действие р-п перехода? Какое свойство р-п перехода используется в выпрямительных и импульсных диодах?

6.3 Как включаются светодиоды в цепь, какое явление происходит в р-п переходе светодиодов?

6.4. Каковы особенности точечных и плоскостных полупроводниковых диодов?

6.5. Нарисуйте эквивалентные схемы р-п перехода при прямом и обратном смещении. Объясните зависимости $C_{\text{бар}}$ и $C_{\text{диф}}$ от приложенного напряжения. Поясните влияние барьерной емкости на основное свойство р-п перехода.

6.6. Как включаются полупроводниковые диоды, если рабочее напряжение превосходит допустимое $U_{\text{обр}}$ одного диода?

6.7. Как включаются полупроводниковые диоды, если рабочий ток превышает допустимый прямой ток одного диода?

6.8 Перечислите параметры выпрямительных, импульсных и светодиодов, укажите единицы измерения этих параметров.

Приложение

Таблица 3. Справочные данные выпрямительных диодов и Шоттки

Тип диода	Д2Г	Д223	КД923А(Шоттки)
-----------	-----	------	----------------

Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование выпрямительного диода, диода Шоттки, светодиода»	Зачет

1. Цель занятия: изучение свойств диодов путем снятия вольт-амперных характеристик и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- платформа NI ELVIS II;
- исследуемые диоды;
- ПК.

3. Схемы измерений

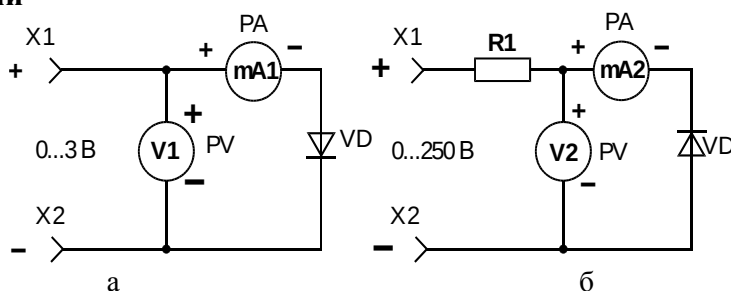


Рис. 1. Схема измерения ВАХ:
а – прямой ток, б – обратный ток

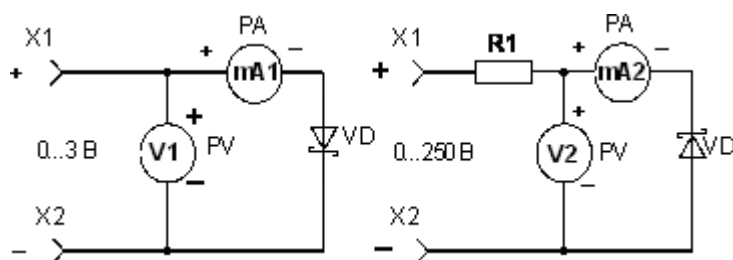


Рис. 2. Схема измерения ВАХ диода Шоттки:
а – прямой ток, б – обратный ток

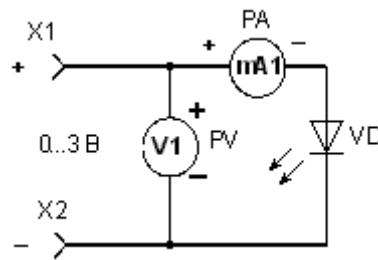


Рис. 3. Схема измерения ВАХ светодиода:
(прямой ток)

Эти схемы в платформе NI ELVIS II реализованы программным путем с использованием виртуальных приборов. Если использовать программу 2-Wire, то на экране монитора сразу видим прямую ветвь вольтамперной характеристики.

4. Результаты измерений

Таблица 1. Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода и диода Шоттки

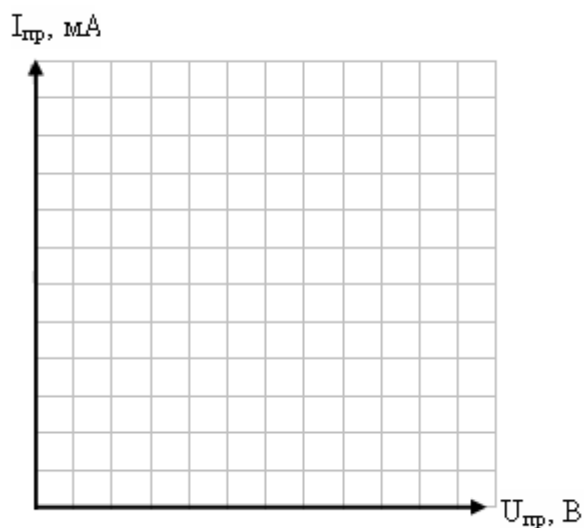
U (B)		0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ImA	Ge Д2Г										
	Si Д223										
	Шоттки КД923А										

Таблица 2. Вольт-амперная характеристика светодиода.

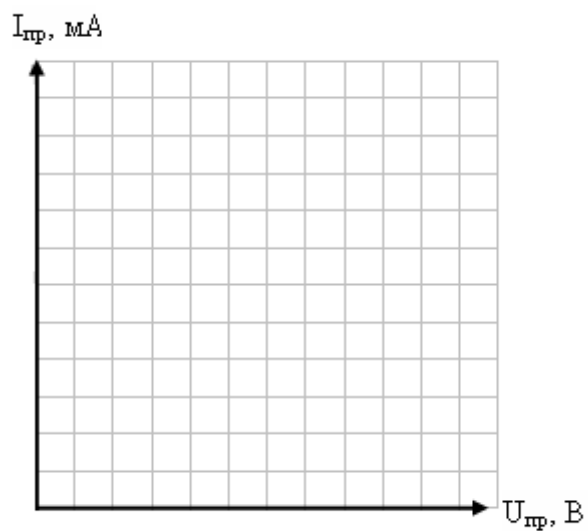
U(B)		0	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2
красный	АЛ307БМ							
зеленый	АЛ307ВМ							

5. Вольт-амперная характеристики диодов

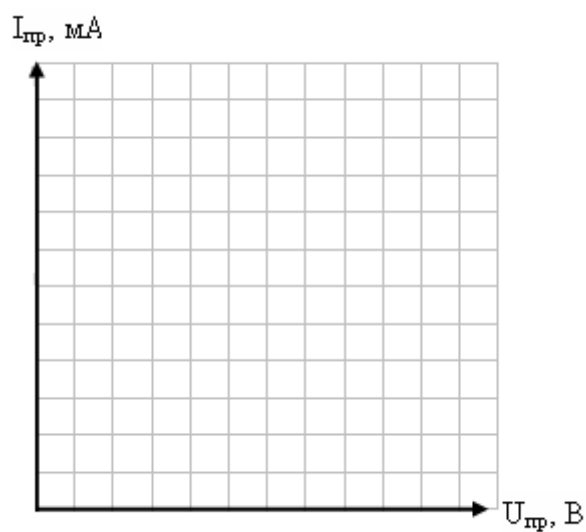
ВАХ германиевого(Д2Г) и кремниевое (Д223) диодов



ВАХ диода Шоттки
КД923А



ВАХ красного
(АЛ307БМ) и зеленого
(АЛ307ВМ) светодио-
дов



6. Результат вычисления

$$R_{0 \text{ пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{пр}}}, \text{ Ом (для всех диодов на рабочем участке)}$$

$$R_{\text{дин. пр}} = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{пр}}}, \text{ Ом}$$

7. ВЫВОДЫ.

7.1 Объясните применение выпрямительных, импульсных и светодиодов.

7.2 Сравните германиевые, кремниевые и диоды Шоттки по напряжению отпираания.

7.3 Объясните работу диода Шоттки. Почему диоды Шоттки используются в СВЧ диапазоне и в качестве импульсных диодов с минимальным временем восстановления?

[illegible]

Лабораторная работа № ____

«Исследование кремниевых стабилитронов»

1. Цель работы: изучить свойства кремниевых стабилитронов путем измерения вольт-амперных характеристик и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- модуль со схемой включения стабилитрона;
- исследуемые стабилитроны.

3. Краткие теоретические сведения

Полупроводниковый стабилитрон выполняется только на кремнии, работает в режиме электрического пробоя, для которого характерно постоянство обратного напряжения при увеличивающемся обратном токе. Электрический пробой объясняется туннельным эффектом или лавинной ионизацией атомов полупроводника (лавинным размножением зарядов).

4. Порядок проведения работы

4.1. Познакомиться с конструкцией, маркировкой стабилитронов и справочными данными на них (см. приложение).

4.2. Ознакомиться со схемой измерений (рис. 1).

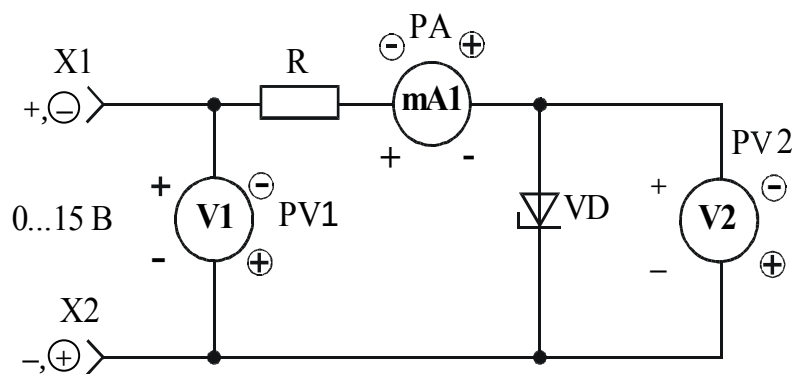


Рис. 1. Схема измерения ВАХ стабилитрона

4.3. Подготовить стенд к работе согласно общим положениям.

4.4. Установить исследуемый кремниевый стабилитрон в гнезда схемы «Исследование кремниевого стабилитрона», соблюдая полярность.

Установить полярность напряжения источника 0...15 В, вольтметров V1, V2 и миллиамперметра mA1 в соответствии с обозначением на схеме для снятия прямой ветви ВАХ.

4.5. Включить блок БП-2 стенда «Вкл», при наличии напряжения загорается индикаторная лампа. Изменяя напряжение источника 0..15 В на ПУ2 ручками «Грубо» и «Плавно», устанавливать по V2 величины напряжений, указанных в табл. 1. Фиксировать по mA значение прямого тока (не более $I_{пр. max}$ по табл. 1).

Таблица 1. ВАХ стабилитрона. Прямая ветвь

Тип стабилитрона	$U_{пр}, В$	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	$I_{пр}, mA$									

По окончании измерений поставить ручки «Грубо» и «Плавно» БП 1 0...15 В в крайнее левое положение.

4.6. Для измерения обратной ветви ВАХ установить на ПУ2 необходимую полярность напряжения 0...15 В, вольтметров V1 и V2, амперметра mA1 в соответствии с обозначениями по схеме.

Изменяя напряжение источника 0...15 В ручками «Грубо» и «Плавно», снять обратную ветвь ВАХ, заполнить табл. 2.

Таблица 2. Обратная ветвь ВАХ

Тип стабилизатора	U _{обр} , В	0	2	4	6	8	10	12	14
	I _{обр} , mA								
	U _{ст} , В								

По окончании измерений поставить ручки «Грубо» и «Плавно» в крайнее левое положение, выключить БП2 и отключить стенд от сети.

4.7. Определение параметров стабилизатора:

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}, \text{ Ом} \quad \text{– дифференциальное сопротивление;}$$

$$K_c = \frac{(\Delta U_{\text{ист}}/U_{\text{ист}})}{(\Delta U_{\text{ст}}/U_{\text{ст}})} \quad \text{– коэффициент стабилизации.}$$

5. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерений, ВАХ стабилизатора, параметры I_{min}, I_{max}, U_{ст}, R_i, K_c, выводы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Объясните принцип работы стабилизатора.

6.2. Почему в качестве материала для изготовления данного типа диода используется кремний?

6.3. Объясните маркировку и условное обозначение стабилизатора.

6.4. Нарисуйте ВАХ стабилизатора и расскажите о физических процессах, определяющих форму характеристики на разных участках.

6.5. Какие виды пробоя p-n перехода вы знаете?

6.6. Что такое ТКС стабилизатора? Как он отличается у стабилизаторов с разными видами пробоя?

6.7. Расскажите о применении стабилизатора.

6.8. Укажите основные параметры стабилизатора и объясните их физический смысл.

Приложение

Справочные данные стабилизаторов

Тип стабилизатора	Д814А	Д814В	КС139А
I _{ст. max} , mA	40	32	70
U _{ст} , В	7	10	3,9
I _{пр. max} , mA	100	100	70

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с

4. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Отвѣты на вопросы

[illegible]

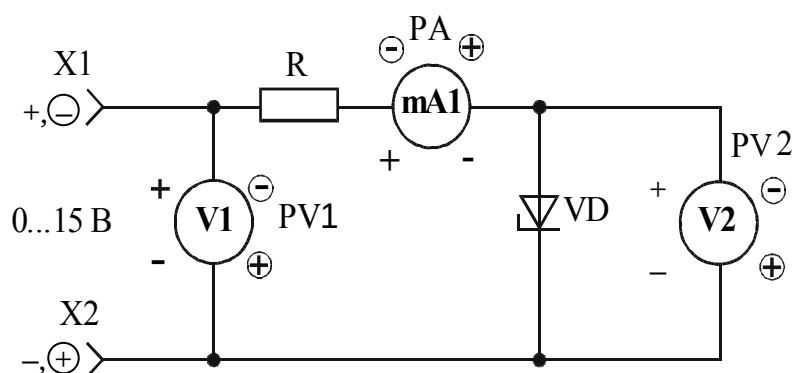
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
Ф.И.О. _____	Лабораторное занятие № ____ «Исследование кремниевых стабилитронов»	Зачет

1. Цель работы: изучить свойства кремниевых стабилитронов путем измерения вольт-амперных характеристик и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- модуль со схемой включения стабилитрона;
- исследуемые стабилитроны.

3. Схема измерения



4. Результаты измерений

Таблица 1. ВАХ стабилитрона. Прямая ветвь

Тип стабилитрона	$U_{пр}, В$	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	$I_{пр}, мА$									

Таблица 2. Обратная ветвь ВАХ

Тип стабилитрона	$U_{обр}, В$	0	2	4	6	8	10	12	14
	$I_{обр}, мА$								
	$U_{ст}, В$								

Лабораторная работа № ____

«Исследование варикапа»

1. Цель работы: изучение свойств варикапа путем измерения вольт-фарадной характеристики и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ1;
- модуль со схемой исследования варикапов;
- исследуемые варикапы.

3. Краткие теоретические сведения

Варикапами называются полупроводниковые диоды, у которых используется барьерная емкость запятого р-п перехода, зависящая от величины приложенного к диоду напряжения. При возрастании запирающего напряжения растет ширина запирающего слоя и барьерная емкость уменьшается. Основной характеристикой варикапа является вольт-фарадная характеристика — зависимость барьерной емкости от величины обратного напряжения (рис. 1).

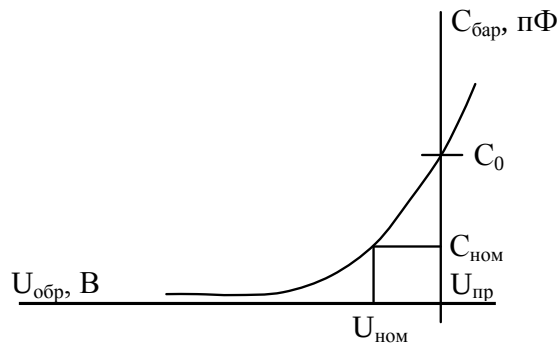


Рис. 1. ВФХ обратного смещенного р-п перехода

Маркировка варикапов:

1 по ГОСТ 5461-59 — Д 901...905А...Е;

2 по ГОСТ 10862-72 — КВ101...199, КВ201...299.

Цифры: 1 — подстроечные варикапы; 2 — умножительные (варакторы).

Варикапы (третий элемент — цифра 1) используются для подстройки радиотехнических контуров на требуемую частоту; варакторы используются для умножения частоты.

Основные электрические параметры варикапов:

- $C_{ном}$ — емкость при заданном $U_{обр} = -4$ В;
- K_c — коэффициент перекрытия по емкости — отношение общих емкостей варикапа при двух заданных значениях $U_{обр}$ (например, $U_{обр} = 4$ и 45 В);
- $I_{обр}$, мкА — обратный ток при заданном $U_{обр}$;
- $\alpha_{св}$ — температурный коэффициент емкости варикапа — отношение относительного изменения емкости варикапа к вызвавшему его абсолютному изменению температуры окружающей среды:

$$\alpha_{св} = \frac{\Delta C}{C_{ном} \Delta T}, \frac{1}{град};$$

Q_v — добротность варикапа — отношение реактивного сопротивления на заданной частоте к сопротивлению потерь при заданном значении емкости на рабочей частоте.

4. Порядок выполнения работы

- 4.1. Познакомиться с конструкцией, маркировкой и справочными данными материалов (см. приложение).
- 4.2. Подготовить стенд к работе согласно общим положениям.
- 4.3. Для измерения вольт-фарадной характеристики установить исследуемый диод в гнезда схемы (рис. 2).

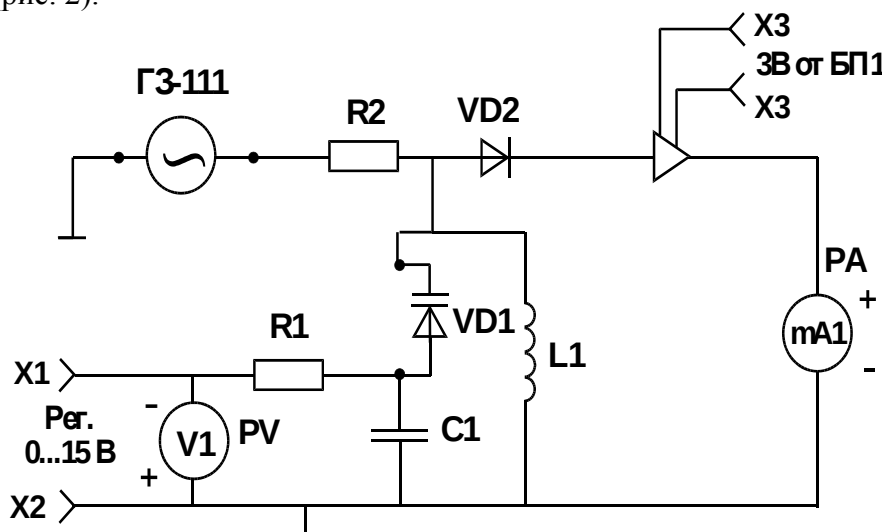


Рис. 2. Схема подключения варикапа

- 4.4. Установить полярность источника напряжения 0...15 В ПУ2, вольтметра V1 и амперметра mA1 в соответствии с обозначениями на схеме.
- 4.5. Включить стенд в сеть.
- 4.6. Включить блок БП1 и БП2 тумблером «Вкл» на ПУ1 и ПУ2; о наличии напряжения сигнализирует светодиод. (БП1 — питание усилителя — ручки 3 В «Плавно» и «Грубо» в правое положение).
- 4.7. Миллиамперметр mA1 установить на предел измерения 100 мкА; пределы измерения V1 выбрать, исходя из заданных в табл. 1.
- 4.8. Включить вилку генератора ГЗ-111 в сеть. Установить амплитуду синусоидального сигнала на половину максимальной величины.
- 4.9. Изменяя напряжение источника 0...15 В ручками «Плавно» и «Грубо» на ПУ1, устанавливать по V1 значения напряжения, указанные в табл. 1.
- 4.10. Перестраивая генератор ГЗ-111 по частоте ручкой «частота НЗ», подобрать максимальное показание миллиамперметра mA1, соответствующее резонансу в контуре. Записать частоту генератора в табл. 1, и рассчитать по формуле (1) емкость варикапа C_B .

Таблица 1. Вольт-фарадная характеристика варикапа

U _{обр} , В	0,2	1	2	3	4	5	9	13
f, Гц								
C _в								

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

отсюда

$$C_B = \frac{1}{4\pi^2(f_{\text{рез}})^2 L} - C_{\text{пар}}, \quad (1)$$

где $L = 500$ мкГН,

$C_{\text{пар}} = 20$ пФ — паразитная емкость катушки индуктивности и монтажа.

4.11. По окончании измерений ручки «Грубо» и «Плавно» поставить в крайнее левое положение, выключить БП1 и БП2.

4.12. По табл. 2 рассчитать коэффициент перекрытия по емкости:

$$K_c = \frac{C_{\max}}{C_{\min}} \quad (\text{при } U_{\text{обр}} = -2 \text{ В; } U_{\text{обр}} = -13 \text{ В}).$$

Добротность диода на частоте $f = 1 \text{ МГц}$ и $U_{\text{ном}} = -4 \text{ В}$:

$$Q_v = \frac{X_c}{r_n} = \frac{1}{2\pi f C_v r_n},$$

где C_v при $U_{\text{ном}}$,

r_n — сопротивление потерь.

5. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерения, таблица, вольт-фарадная характеристика варикапа, расчеты, K_c , Q_v , выводы.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Объясните маркировку и условные обозначения варикапа.
- 6.2. Перечислите основные характеристики и параметры варикапов.
- 6.3. Как влияет температура окружающей среды на варикап?
- 6.4. Как включается варикап и для каких целей он применяется?
- 6.5. В каких пределах можно изменять напряжение, подаваемое на варикап?

Приложение

Таблица

Справочные данные

Тип диода	КВ119А	КВ104А
C_v , пФ	168...252 при $U_{\text{ном}} = -1 \text{ В}$ $f = 1...10 \text{ МГц}$	90...120 при $U_{\text{ном}} = -4 \text{ В}$ $f = 1...10 \text{ МГц}$
Q_v	> 100 при $U_{\text{ном}} = -1 \text{ В}$ $f = 1 \text{ МГц}$	> 100 при $U_{\text{обр}} = -4 \text{ В}$ $f = 1 \text{ МГц}$
$U_{\text{обр.max}}$, В	25	45
$I_{\text{обр.max}}$, мкА	< 1 при $U_{\text{обр}} = -10 \text{ В}$	< 5 при $U_{\text{обр}} = -45 \text{ В}$
K_c	> 18 при $U_{\text{обр}} = 1...10 \text{ В}$	—
$\alpha_{\text{св}}$	0,0002	$< 0,0006$
r_n	8	1

Список литературы

1. 1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
3. Колтакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Ответы на вопросы

This image shows a single page of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, leaving small margins at the top and bottom. There are no vertical margin lines, and the page is completely blank except for the lines themselves.

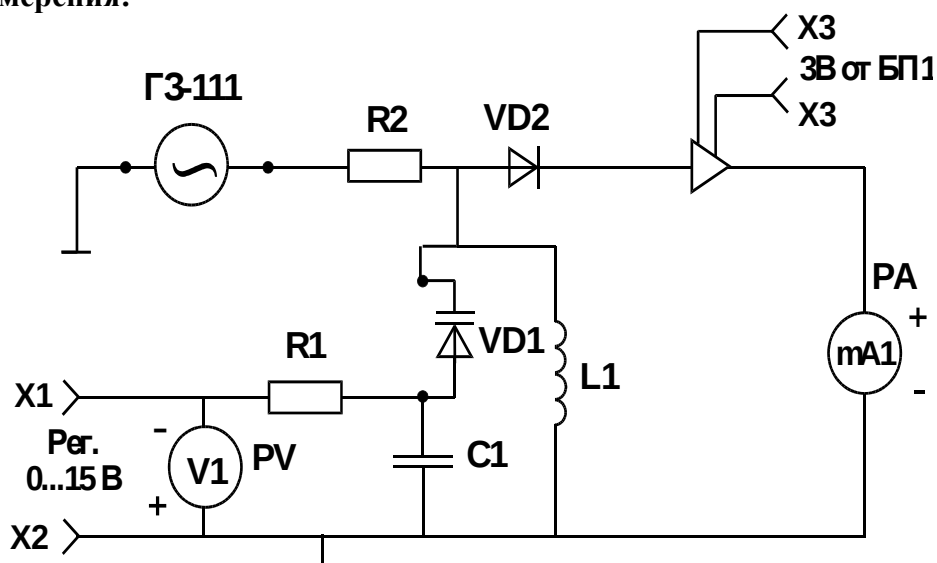
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование варикапа»	Зачет

1. Цель занятия: изучить свойства варикапа путем измерения вольт-фарадной характеристики и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- модуль со схемой включения стабилитрона;
- исследуемые стабилитроны.

3. Схема измерения:



4. Результаты измерений:

Таблица 1. Вольт-фарадная характеристика варикапа

U _{обр} , В	0,2	1	2	3	4	5	9	13
f, Гц								
C _в								

5. Результаты вычислений:

$$C_B = \frac{1}{4\pi^2(f_{рез})^2 L} - C_{пар},$$

где L = 500 мк Гн

C_{пар} = 20 п Ф.

$$K_c = \frac{C_{max}}{C_{min}} \text{ (при } U_{обр} = -2 \text{ В; } U_{обр} = -13 \text{ В).}$$

Добротность диода на частоте f = 1 МГц и U_{ном}

$$Q = \frac{x_c}{R_n} = \frac{1}{2\pi f C_B r_n},$$

где C_в при U_{ном}, r_п – сопротивление потерь.

Лабораторная работа № ____

«Исследование туннельного диода»

1. Цель работы: изучение свойств туннельного диода путем снятия ВАХ и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ — 1;
- модуль со схемой включения ТД;
- исследуемый ТД АИ301А.

3. Краткие теоретические сведения

Туннельные диоды (ТД) работают на основе использования туннельного эффекта, открытого в 1958 г. Лео Эсаки, который заключается в том, что в сильнолегированном полупроводнике возможен переход электронов через узкий потенциальный барьер из зоны проводимости в валентную зону без изменения энергии. При подаче прямого смещения появляется падающий участок ВАХ, что соответствует отрицательному дифференциальному сопротивлению. Поэтому ТД могут быть использованы в усилителях, генераторах и переключателях.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Познакомиться с конструкцией ТД и справочными данными.

4.2. Ознакомиться со схемой измерения (рис. 1).

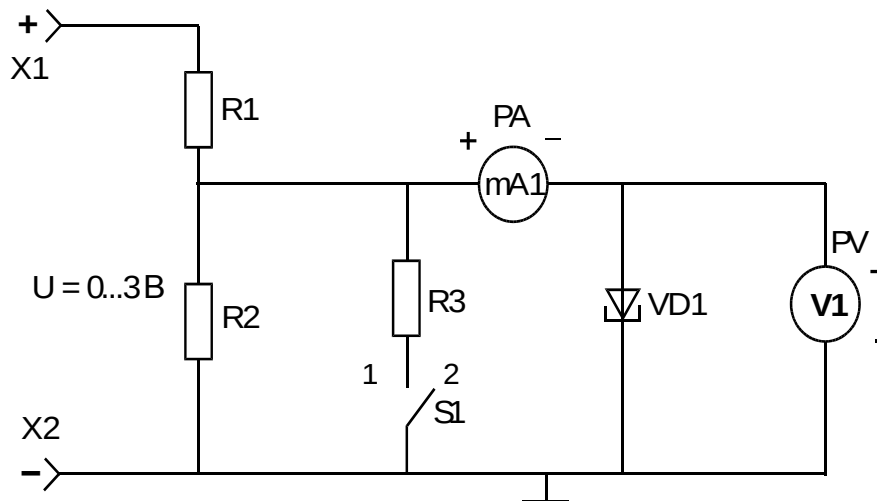


Рис. 1. Схема электрическая измерения параметров туннельного диода

4.3. Подготовить стенд к работе согласно общим положениям.

4.4. Установить ТД в гнездо схемы «Исследование ТД», соблюдая полярность.

4.5. Установить полярность источника напряжения $0...3\text{ В}$ на ПУ1, вольтметра $V1$ и амперметра $mA1$ в соответствии с обозначениями на схеме. Переключатель $S2$ на ПУ2 поставить в положение «1». Включить стенд в сеть.

4.6. Включить блок БП1 тумблером «Вкл» на ПУ, о наличии напряжения сигнализирует индикаторная лампа.

4.7. Установить необходимые пределы измерений $V1$ и $mA1$.

Примечание. На падающем склоне ВАХ некоторые участки измерить невозможно, т. к. ТД переключается; обнаружив их, продолжайте измерения.

Отметить точку максимума и минимума ВАХ.

Измерения ВАХ ТД производятся для двух сопротивлений R2, а так же R2 и R3, включенных параллельно. Для второго случая (R2 параллельно R3) переключатель S2 на ПУ2 поставить в положение «2».

Таблица. ВАХ туннельного диода

Напряжение на диоде U, В	Ток I, мА	
	R2	R2 и R3 включены параллельно
0		
0,02		
0,04		
0,06		
0,08		
0,1		
...		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		

4.8. По окончании измерений ручки «Грубо» и «Плавно» источника 0...3 В на ПУ1 поставить в крайнее левое положение, выключить блок БП1 и отключить стенд от сети.

4.9. Построить ВАХ ТД, определить отрицательное дифференциальное сопротивление ТД.

5. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерений, таблица, график ВАХ, значение $R_{\text{диф}}$ и выводы.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Укажите существенные отличия ТД от обычного полупроводникового диода.
- 6.2. Объясните явление туннельного эффекта.
- 6.3. Перечислите достоинства и недостатки ТД.
- 6.4. Объясните ВАХ ТД. Как определить отрицательное $R_{\text{диф}}$?
- 6.5. Расскажите о конструкции, маркировке и условном обозначении ТД и обращенного диода, их применении.
- 6.6. Расскажите об отличиях и сходствах туннельного и обращенного диодов.

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
3. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Отвѣты на вопросы

[illegible]

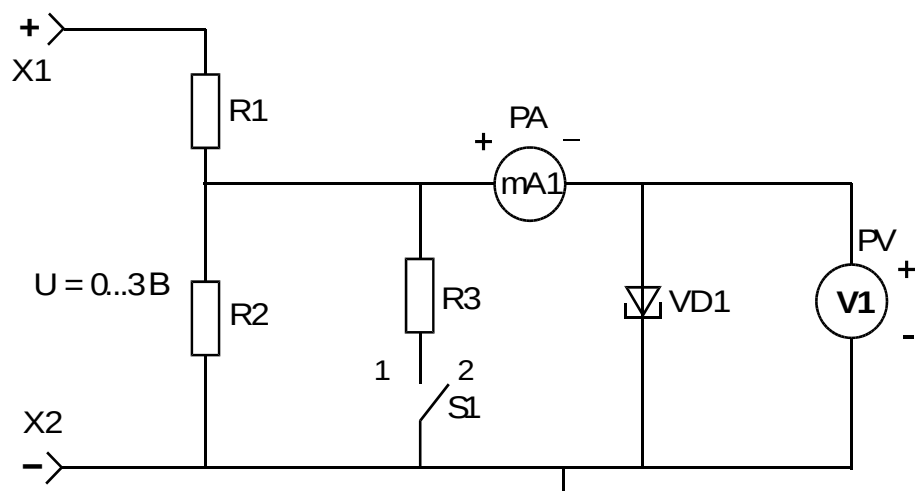
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование туннельного диода»	Зачет

1. Цель занятия: изучить свойства туннельного диода путем снятия ВАХ и определения параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ – 1;
- модуль со схемой включения ТД;
- исследуемый ТД АИ301А.

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

Таблица. ВАХ туннельного диода

Напряжение на диоде U, В	Ток I, mA	
	R2	R2 и R3 включены параллельно
0		
0,02		
0,04		
0,06		
0,08		
0,1		
...		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		

5. Вольт-амперная характеристика туннельного диода



6. Результаты вычислений

$$R_{\text{диф}} = -\frac{\Delta U}{\Delta I}, \text{ Ом}$$

7. Выводы

7.1. В каких схемах используются туннельные диоды?

7.2. Объясните смысл понятия «отрицательное сопротивление».

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Лабораторная работа № ____ «Исследование фотодиода и фоторезистора»

1. Цель работы: исследовать влияние освещенности на величину фототока, снять световые и вольт-амперные характеристики.

2. Перечень используемого оборудования:

- лабораторный стенд;
- вольтметр М-95;
- люксметр.

3. Схема измерений:

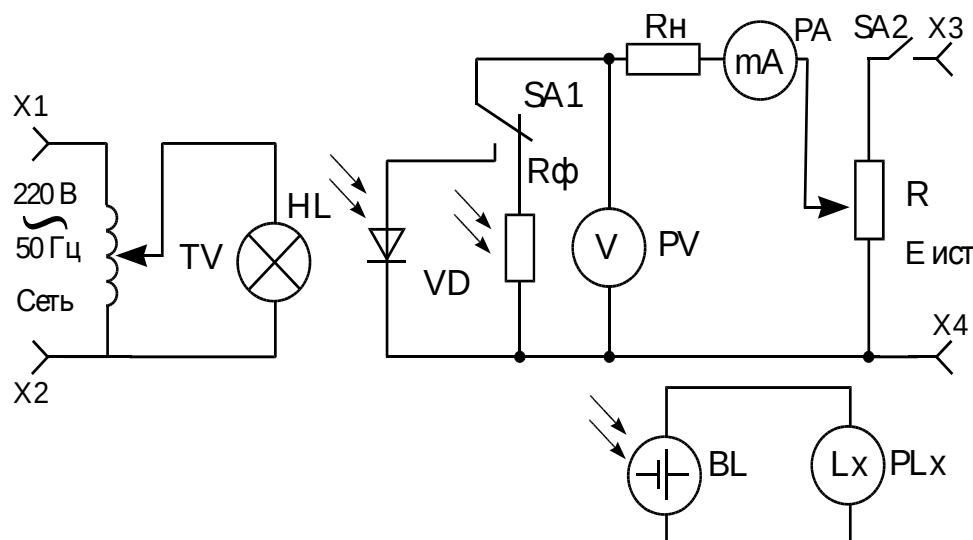


Рис. 1. Схема исследования:

- TV — автотрансформатор;
VD — фотодиод ФД-1;
HL — лампочка накаливания;
R_φ — фотосопротивление;
R — потенциометр для регулировки напряжения;
PV1 — вольтметр В7-26;
BL — фотоэлемент
PLx — люксметр;
E — стабилизированный источник питания;
PA1 — микроамперметр М-95

4. Порядок выполнения работы

4.1. Исследование фоторезистора

4.1.1. Измерить световую характеристику фоторезистора, для чего включить источник питания, переключатель SA2 поставить в положение «Вкл», а SA1 в положение «фоторезистор».

Установить потенциометром R номинальное напряжение $U_{ном} = 5 \text{ В}$. Изменяя автотрансформатором напряжение накала лампочки, заполнить табл. 1.

Таблица 1. Световая характеристика фоторезистора $I_{\phi} = f(E)$ при $U_{ном} = 5 \text{ В}$

Е, лк	0	20	40	60	80	100
I_{ϕ} , мкА						

Внимание! Для того чтобы микроамперметр М-95 не зашкаливал, нужно увеличить пределы измерения шунтом.

Построить световую характеристику, определить темновой фототок I_{ϕ} .

4.1.2. Измерить вольт-амперную характеристику фоторезистора при заданной освещенности.

Таблица 2. Вольт-амперная характеристика фоторезистора $I_{\phi} = f(U)$ при $E = \text{const}$

U, В	0	1	2	3	4	5
I_{ϕ} , мкА при $E=0$ лк						
I_{ϕ} , мкА при $E=50$ лк						
I_{ϕ} , мкА при $E=100$ лк						

Построить вольт-амперные характеристики, определить R_{ϕ} — сопротивление фоторезистора при разной освещенности и $U_{\text{ном}} = 5$ В, сделать выводы о влиянии E на R_{ϕ} .

4.2. Исследование фотодиода в диодном режиме

4.2.1. Тумблер SA1 поставить в положение «фотодиод», SA2 — «Вкл».

4.2.2. Измерить световую характеристику при $U_{\text{ном}} = 5$ В (при увеличении освещенности устанавливать $U_{\text{ном}}$ потенциометром R).

Таблица 3. Световые характеристики фотодиода $I_{\phi} = f(E)$ при $U_{\text{обр}} = 5$ В

E, лк	0	20	40	60	80	100
I_{ϕ} , мкА						

4.2.3. Построить световую характеристику.

4.2.4. Измерить вольт-амперные характеристики фотодиода, изменяя обратное напряжение.

4.2.5. Построить вольт-амперные характеристики.

Таблица 4. Вольт-амперная характеристика фотодиода $I_{\phi} = (U_{\text{обр}})$ при $E = \text{const}$

U, В	0	1	2	3	4	5
I_{ϕ} , мкА при $E=0$ лк						
I_{ϕ} , мкА при $E=50$ лк						
I_{ϕ} , мкА при $E=100$ лк						

5. Содержание отчета: цель работы, схема измерений, таблицы, световые и вольт-амперные характеристики, расчеты, выводы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Объясните устройство и принцип работы обоих элементов.

6.2. Перечислите основные параметры и характеристики фотодиода и фоторезистора.

6.3. Что такое внешний и внутренний фотоэффект? Объясните, почему течет фототок при облучении светом фотоприборов.

6.4. Какой режим работы фотодиода называется вентильным? Нарисуйте схемы использования фотодиода в диодном и вентильном режимах.

6.5. Что такое фото-ЭДС?

6.6. Что такое солнечная батарея?

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: Кно-Рус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
3. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Отвѣты на вопросы

[illegible]

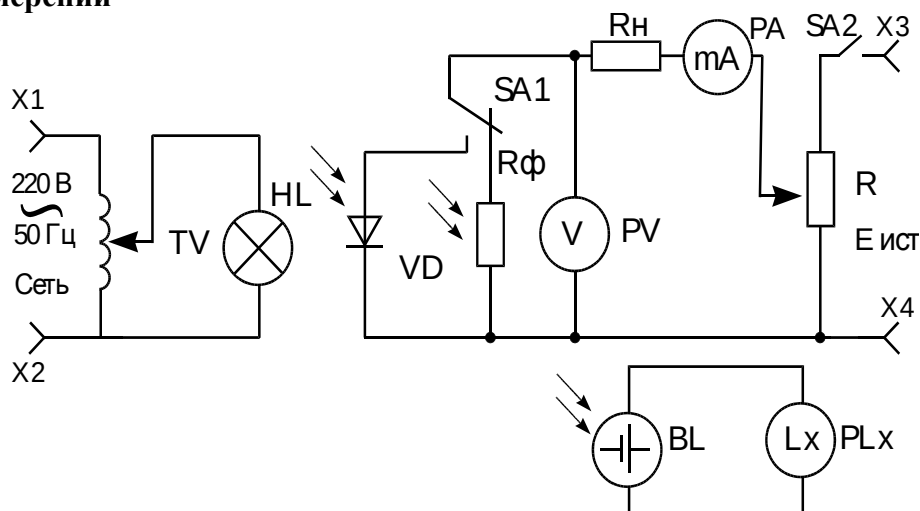
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование фотодиода и фоторезистора»	Зачет

1. Цель работы: исследовать влияние освещенности на величину фототока, снять световые и вольт-амперные характеристики.

2. Перечень используемого оборудования:

- лабораторный стенд;
- вольтметр М-95;
- люксметр.

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

Таблица 1. Световая характеристика фоторезистора $I_\phi = f(E)$ при $U_{ном} = 5В$

E , лк	0	20	40	60	80	100
I_ϕ , мкА						

Таблица 2. Вольт-амперная характеристика фоторезистора $I_\phi = f(E)$ при $E = \text{const}$

U , В	0	1	2	3	4	5
I_ϕ , мкА при $E=0$ лк						
I_ϕ , мкА при $E=50$ лк						
I_ϕ , мкА при $E=100$ лк						

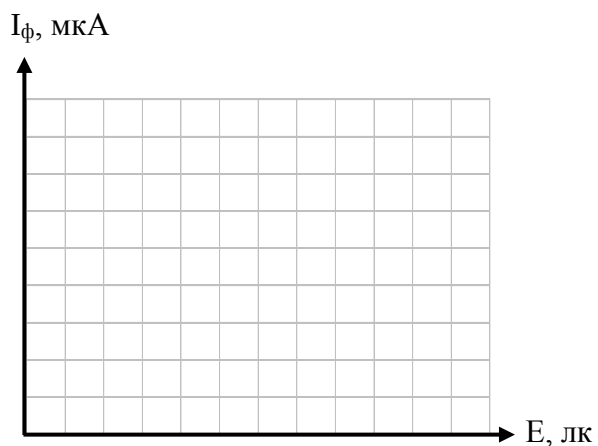
Таблица 3. Световые характеристики фотодиода $I_\phi = f(E)$ при $U_{обр} = 5 В$

E , лк	0	20	40	60	80	100
I_ϕ , мкА						

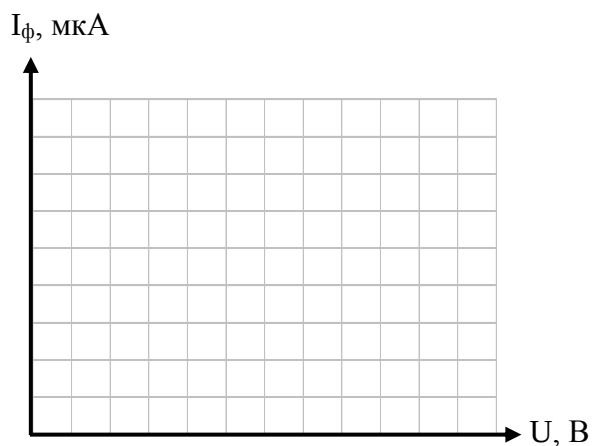
Таблица 4. Вольт-амперная характеристика фотодиода $I_\phi = f(U_{обр})$ при $E = \text{const}$

U , В	0	1	2	3	4	5
I_ϕ , мкА при $E=0$ лк						
I_ϕ , мкА при $E=50$ лк						
I_ϕ , мкА при $E=100$ лк						

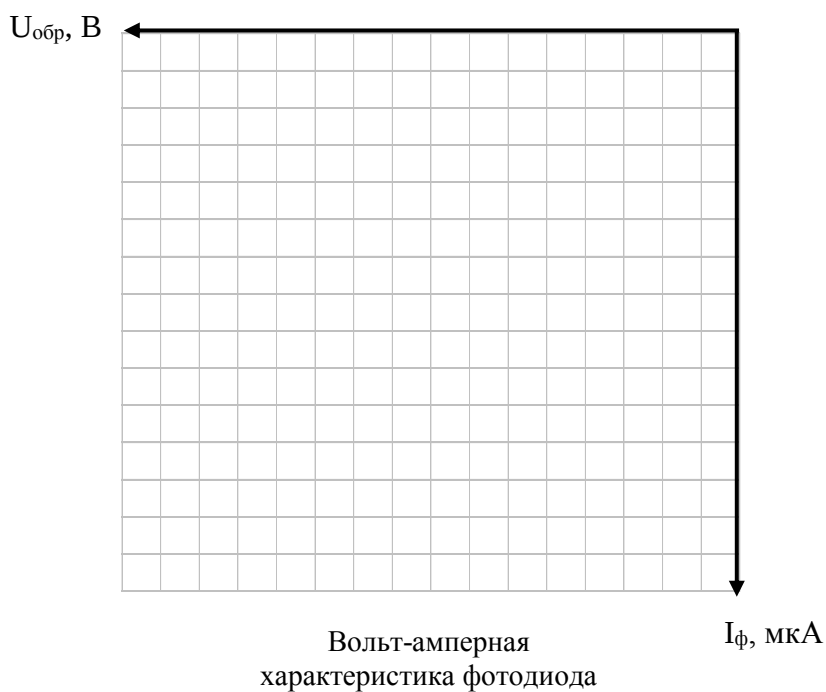
5. Экспериментальные графики



Световые характеристики
фотодиода и фоторезистора



Вольт-амперная
характеристика фоторезистора



Вольт-амперная
характеристика фотодиода

6. Выводы

6.1. Как включается в схему фотодиод и фоторезистор?

6.2. Как различаются фотодиод и фоторезистор по величине фототока?

Лабораторная работа № ____

«Исследование биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером»

1. Цель работы: изучение свойств биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ, путем измерения статических входных и выходных характеристик и определение h-параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- модуль NI ELVIS;
- исследуемый транзистор;
- ПК.

3. Краткие теоретические сведения

Транзистор — преобразовательный полупроводниковый прибор, пригодный для усиления мощности, имеющий три вывода — эмиттер, база, коллектор. Биполярный транзистор имеет два p-n перехода и основан на переносе неосновных носителей через базу. Известны три схемы включения транзистора — с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. Каждая схема имеет свои достоинства и недостатки. В данной работе следует снять входные и выходные вольт-амперные характеристики транзистора, включенного по схеме с ОЭ в статическом режиме (без нагрузки), и определить вторичные h-параметры, по которым можно судить о качестве данного транзистора. Измерение статических характеристик транзисторов производится по схеме (рис. 1).

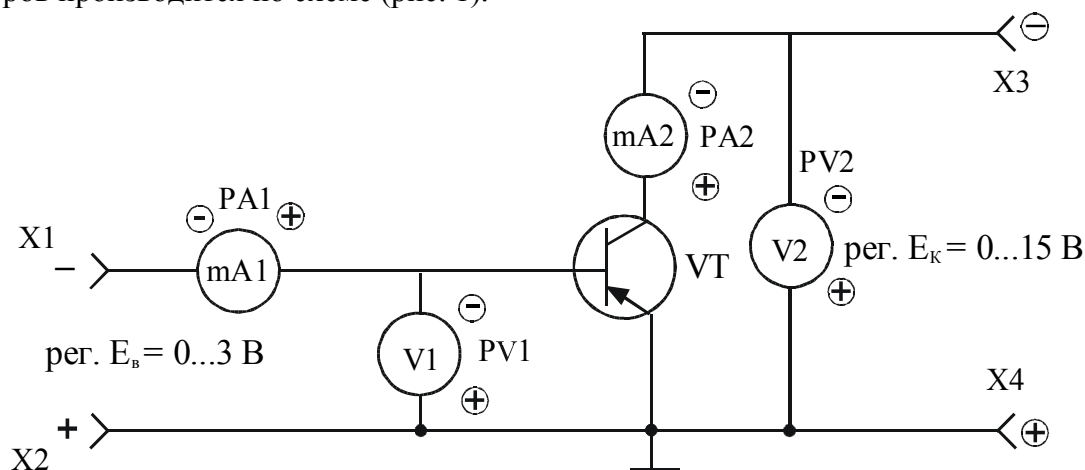


Рис. 1

В данной работе необходимо снять входные и выходные вольтамперные характеристики транзисторов с помощью аппаратно-программного комплекса NI ELVIS II. Схема измерений реализована в платформе NI ELVIS II программным путем с использованием виртуальных приборов. Для определения назначения электродов и правильного подключения исследуемого транзистора необходимо воспользоваться рисунками корпусов транзистора.

4. Порядок проведения работы

4.1 Познакомиться с конструкцией исследуемого транзистора, маркировкой и его справочными данными (приложение). Заполнить табл. 1 отчета. По рисункам корпусов изучить цоколевку транзистора и одеть на базовый вывод белую трубочку, на коллекторный — красную, на эмиттерную, соответственно, — черную.

Таблица 1. Справочные данные исследуемого транзистора

Маркировка	Тип транзистора и назначение	Основные параметры					
		$h_{21э}$	$U_{КЭ\max}$, В	$I_{К\max}$, мА	$P_{К\max}$, мВт	C_K , пФ	$C_Э$, пФ

4.2 Подготовить стенд согласно «Инструкции по эксплуатации лабораторного модуля NI ELVIS II».

4.3 Включить питание рабочей станции выключателем на задней панели, о наличии напряжения сигнализирует индикаторный светодиод «Active».

4.4 Исследование входной вольт-амперной характеристики транзистора.

4.4.1 Для исследования входной вольтамперной характеристики установить транзистор в гнезда контактной площадки в соответствии с цоколевкой. При этом эмиттер должен быть вставлен в гнездо «Е», база – в гнездо «В», коллектор – в гнездо «К». Как известно, входные характеристики $I_b = f(U_{бэ})$ транзистора п-р-п – структуры снимаются при двух значениях напряжения на коллекторе: $U_{кэ} = 0$ и $U_{кэ} = 5$ В. Для этого на контактной площадке имеется соответствующий переключатель. Фотография примера подключения п-р-п-транзистора при $U_{кэ} = 5$ В приведена на рис.2.

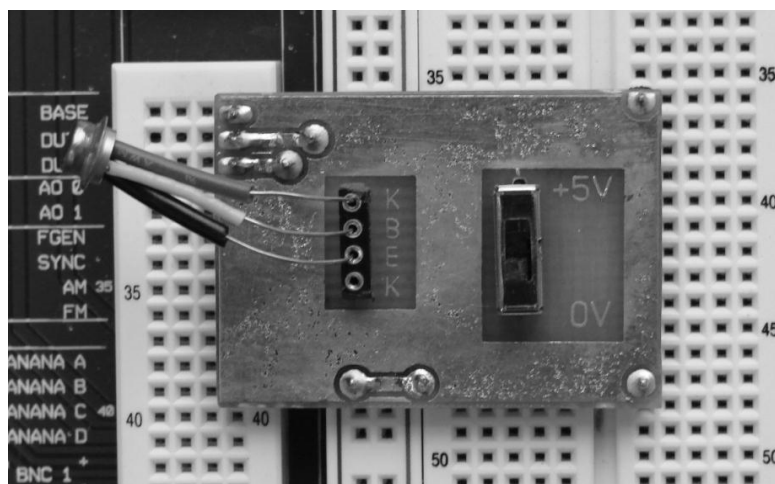


Рис. 2

4.4.2 Запустить панель приборов «NI ELVISmx Instrument Launcher» (ярлыком на рабочем столе).

4.4.3 В окне панели приборов «NI ELVISmx Instrument Launcher» запустить «2-Wire» .

4.4.4 В открывшемся окне «2-Wire» установить напряжения: начальное «Start» – 0,50 В, шаг «Increment» – 0.01V, предел «Stop» – 0.70V. Пределы токов «Current Limits» – согласно рис. 3.

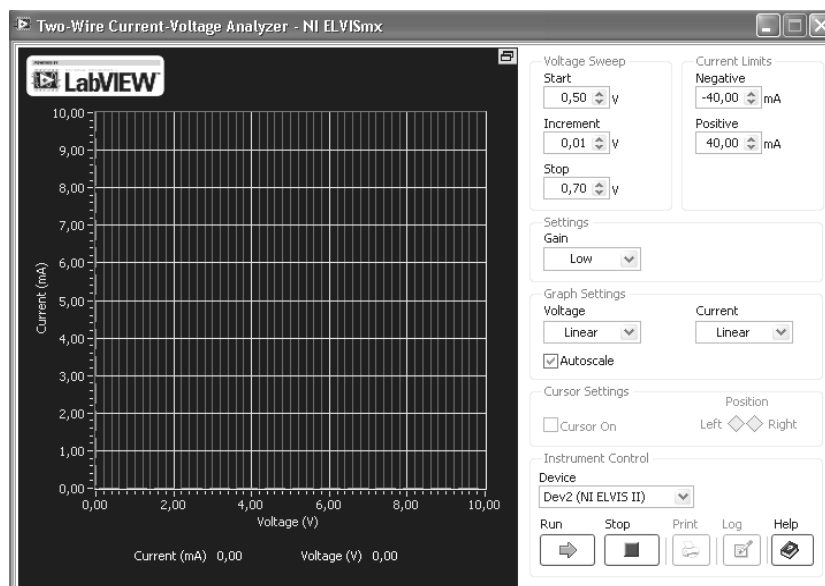


Рис. 3

4.4.5 Подать питание на макетную плату переключателем «Power» на лицевой панели.

4.4.6 Для снятия входной характеристики при $U_{КЭ} = 0$ V установить переключатель на контактной площадке в соответствующее положение и запустить процесс получения характеристики нажатием кнопки «Run».

В случае появления искажения вольт-амперной характеристики типа «ступенька» и резкого увеличения тока базы (рис. 4) необходимо обязательно уменьшить в установках величину максимального подаваемого на базу напряжения (в окне «Stop») до величины, при которой не будет наблюдаться ограничения тока базы. Для рис. 4 эта величина составит 0,67V.

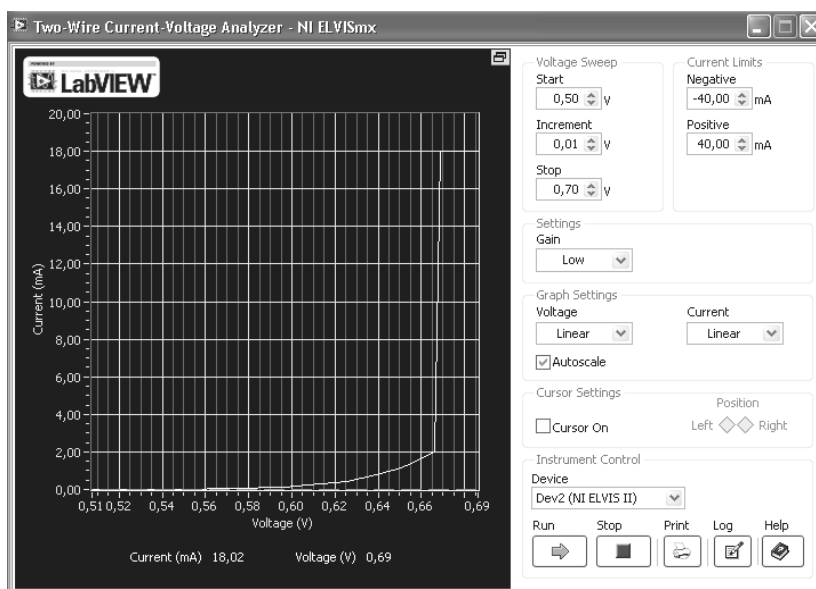


Рис.4

4.4.7 Заполнить соответствующую колонку таблицы (или распечатать). Если все значения установлены правильно, то на экране появится вольт-амперная характеристика исследуемого транзистора. Для получения точных данных I и U используется курсор, при этом необходимо поставить галочку в окне «Cursog on». Для построения ВАХ транзистора самостоятельно выбирается начальное значение $U_{БЭ}$, при котором открывается переход ба-

за – эмиттер, и шаг снятия отсчётов. Соответственно для германиевых и кремниевых транзисторов начальные значения $U_{БЭ}$ будут разные.

Установить на контактной площадке переключатель в положение 5V и повторить все операции для $U_{КЭ} = 5\text{ В}$, заполнив табл. 2.

4.4.8 Для получения исходных данных для вычисления входного сопротивления транзистора на экране монитора установить курсор для $U_{БЭ}$ примерно 0,65 В (Si) и 0,35 В (Ge), записать значения тока базы I_B . Переместить курсор по оси напряжения на 0,01-0,02 В и записать другое значение тока базы I_B .

Рассчитать входное сопротивление транзистора:

$$h_{11э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_B, \text{ Ом} \quad \text{при } U_{КЭ} = 5\text{ В},$$

где $\Delta U_{БЭ}$ – выбранное приращение напряжения на базе;

ΔI_B – соответствующее приращение тока базы.

Таблица 2. Входные характеристики транзистора по схеме с ОЭ
 $I_B = f(U_{БЭ}) \text{ при } U_{КЭ} = \text{const}$

$U_{БЭ}, \text{ В}$	$I_B, \text{ мкА}$	
	$U_{КЭ} = 0$	$U_{КЭ} = 5\text{ В}$
0		

4.5 Исследование выходной вольт-амперной характеристики транзистора.

4.5.1 Для исследования выходной вольт-амперной характеристики подключить переходник с тремя выводами к макетной плате. Выводы транзистора подключить к переходнику зажимами типа «крокодил» согласно цвету каждого вывода: красный провод – коллектор, белый – база, черный – эмиттер. При этом эмиттер подключается к гнезду «DUT–», база – «BASE», коллектор – «DUT+» платформы NI ELVIS II (рис. 5).

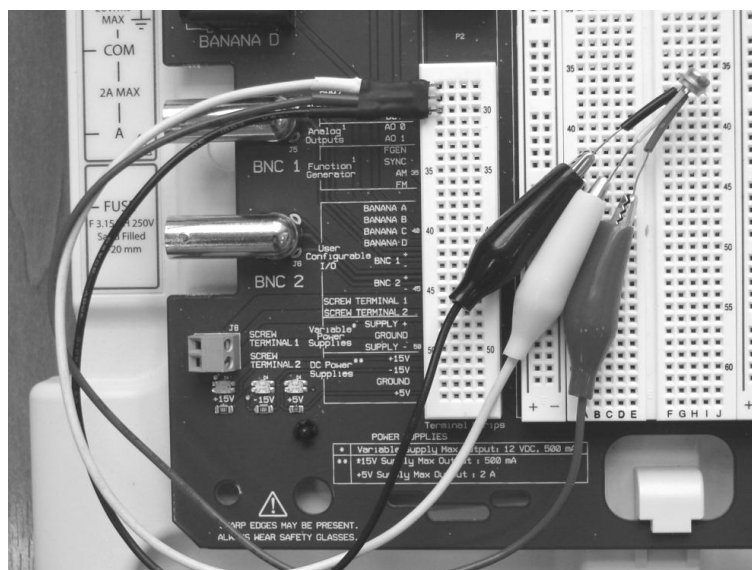


Рис. 5

4.5.2 Запустить панель приборов «NI ELVISmx Instrument Launcher» (ярлыком на рабочем столе).

4.5.3 В окне панели приборов «NI ELVISmx Instrument Launcher» запустить «3-Wire»

4.5.4 В открывшемся окне «3-Wire» установить: тип транзистора «Transistor Type», напряжение подаваемое на коллектор «Collector Voltage Sweep», ток, подаваемый на базу «Base Current Sweep», и количество кривых «Number of Curves» согласно рисунку 6.

В результате должно быть установлено: «Transistor Type» – NPN Transistor, начальное значение напряжения коллектора «Vc Start» – 0,00V, конечное значение напряжения коллектора «Vc Stop» – 6,00V, шаг измерения «Vc Step» – 1,000V, начальный ток базы «Ib Start» – 100,00 mkA, шаг тока базы – «Ib Step» – 100,00 mkA, количество кривых «Number of Curves» – 3.

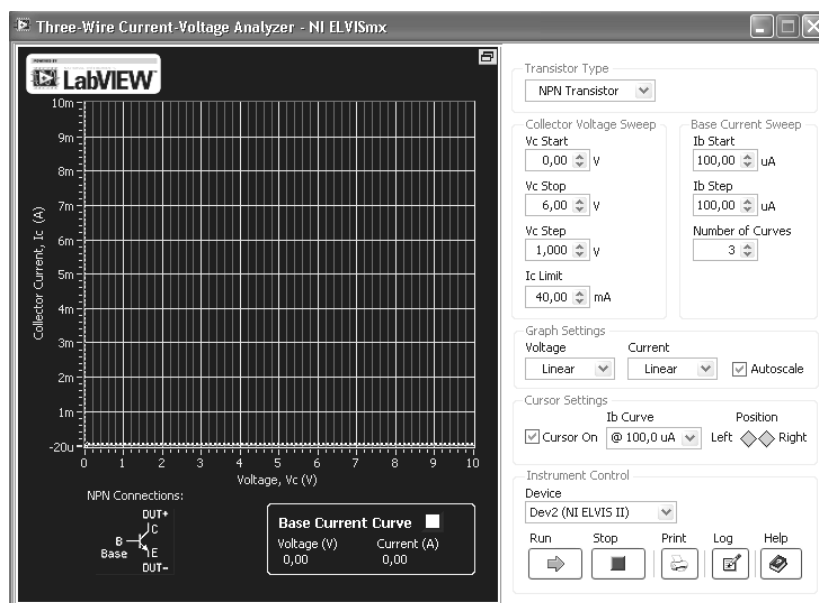


Рис. 6

4.5.5 Подать питание на макетную плату переключателем «Power» на лицевой панели.

4.5.6 Для запуска процесса получения характеристики нажать клавишу «Run».

4.5.7 Заполнить табл. 3 (или распечатать). Если все значения установлены правильно, то на экране появятся три вольтамперные характеристики исследуемого транзистора. Для получения точных координат точек кривых ВАХ используется курсор, поставив галочку «Cursor on». Для выбора характеристики используется выпадающее подменю окна «Ib Curve».

4.5.8 По изображению экране монитора определить коэффициент усиления тока базы. Для этого установить курсор на $U_{КЭ} = 5$ В. Определить соответствующее значение I_K по характеристике при $I_B = 200$ mkA. Затем, не изменяя положения курсора на $U_{КЭ}=5$ В, выбрать характеристику при $I_B = 300$ mkA и также снять значение I_K . Полученные приращения токов базы и коллектора подставить в формулу и рассчитать коэффициент усиления тока базы:

$$h_{21Э} = \beta = \Delta I_K / \Delta I_B, \quad \text{при } U_{КЭ} = 5 \text{ В}$$

Сравнить со справочными данными.

4.5.9 Определить выходную проводимость транзистора. На характеристике при $I_B = 300$ mkA установить курсор на напряжение $U_{КЭ} = 4$ В, записать соответствующее значение I_K . После этого переместить курсор на $U_{КЭ} = 5$ В, записать I_K . Полученные приращения $\Delta U_{КЭ}$ и ΔI_K подставить в формулу и рассчитать выходную проводимость:

$$h_{22Э} = G = \Delta I_K / \Delta U_{КЭ}, \text{ См} \quad \text{при } I_B = \text{const}.$$

Таблица 3. Выходные характеристики транзистора по схеме с ОЭ
 $I_K = f(U_{KЭ})$ при $I_B = \text{const}$.

Транзистор _____

U _{кэ} , В	I _к , mA		
	I _б =100 мкА	I _б = 200 мкА	I _б = 300 мкА
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			

5. Обработка результатов измерений

5.1. Построить входные и выходные характеристики транзистора (или вклеить выходные характеристики транзистора).

5.2. Определить h-параметры транзистора:

$h_{11Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_B$, Ом при $U_{КЭ} = 5$ В – входное сопротивление;

$h_{12Э} = \Delta U_{БЭ} / \Delta U_{КЭ}$, при $I_B = \text{const}$ – коэффициент обратной паразитной связи по напряжению;

$h_{21Э} = \beta = \Delta I_K / \Delta I_B$, при $U_{КЭ} = 5$ В – коэффициент усиления тока базы;

$h_{22Э} = G = \Delta I_K / \Delta U_{КЭ}$, См при $I_B = \text{const}$ – выходная проводимость.

$h_{12Э}$ – определяется по построенной входной характеристике.

6. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерений, таблицы, входные и выходные характеристики транзистора, h-параметры, выводы.

7. Контрольные вопросы

7.1. Как различить схемы включения транзистора с ОЭ, ОБ, ОК?

7.2. Какие зависимости выражают входные и выходные характеристики транзистора в схеме с ОЭ?

7.3. Объясните процесс усиления по току и напряжению в схеме с ОЭ.

7.4. Чем объяснить большее значение $R_{ВХ}$ в схеме с ОЭ по сравнению со схемой с ОБ?

7.5. Как влияет $U_{КЭ}$ на входную характеристику, а значение I_B на выходную характеристику транзистора?

7.6. Как определить h-параметры по статическим характеристикам транзистора и их физический смысл?

7.7. В каких случаях применяется схема с ОЭ, а в каких – с ОБ?

7.8. Объясните знаки потенциалов на коллекторе разных типов проводимости транзисторов.

Список литературы

1. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.
2. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008г.

Приложение

Маркировка	Тип транзистора и назначение	Основные параметры					
		$h_{21э}$	$U_{кэ\text{ max,}}$ В	$I_{к\text{ max,}}$ мА	$P_{к\text{ max,}}$ мВт	$C_{к,}$ пФ	$C_{э,}$ пФ
КТ201А	п-р-п. Применяются в усилительных схемах.	20-60	20	20	150	≤ 20	-
ГТ311Е	п-р-п. Применяются в радиовещательных приемниках, приемно-усилительной и другой аппаратуре широкого применения.	15-80	12	50	150	≤ 2.5	≤ 5
КТ312Б КТ312В	п-р-п. Предназначены для усиления, генерирования колебаний ВЧ, для работы в быстродействующих импульсных схемах.	25-100 50-280	20	30	225	≤ 5	≤ 20
КТ301А	п-р-п. Предназначены для усиления и генерирования колебаний в каскадах РЭА.	20-60	20	10	150	≤ 10	≤ 80
КТ306А КТ306В	п-р-п. Предназначены для работы в переключающих устройствах.	20-60 40-200	10	30	150	≤ 5	4,5
КТ316А КТ316Б	п-р-п. Предназначены для работы в быстродействующих переключающих и усилительных устройствах.	20-60 40-120	10	30	150	≤ 3	≤ 2.5
КТ603Г	п-р-п. Применяются в усилителях, ВЧ генераторах и переключающих устройствах РЭА.	60-180	15	300	0,5	≤ 15	≤ 40
КТ313А КТ313Б	р-п-р. Применяются в усилителях ВЧ и переключающих устройствах.	30-120 80-300	-50 -50	350 350	300 300	≤ 12 ≤ 12	25-45 25-45
ГТ308А ГТ308В	р-п-р. Применяют для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний ВЧ	20-75 80-200	-12	50	150	≤ 8	≤ 25
КТ315А	р-п-р. Применяют для усиления ВЧ и в переключающих устройствах.	30-120	-50	350	300	≤ 12	25-45
2Т203А	р-п-р. Применяют в стабилизаторах, схемах усиления и генерирования колебаний.	9	-60	50	150	-	-

Отвѣты на вопросы

This image shows a full page of blank white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for writing. There are no margins, text, or other markings on the paper.

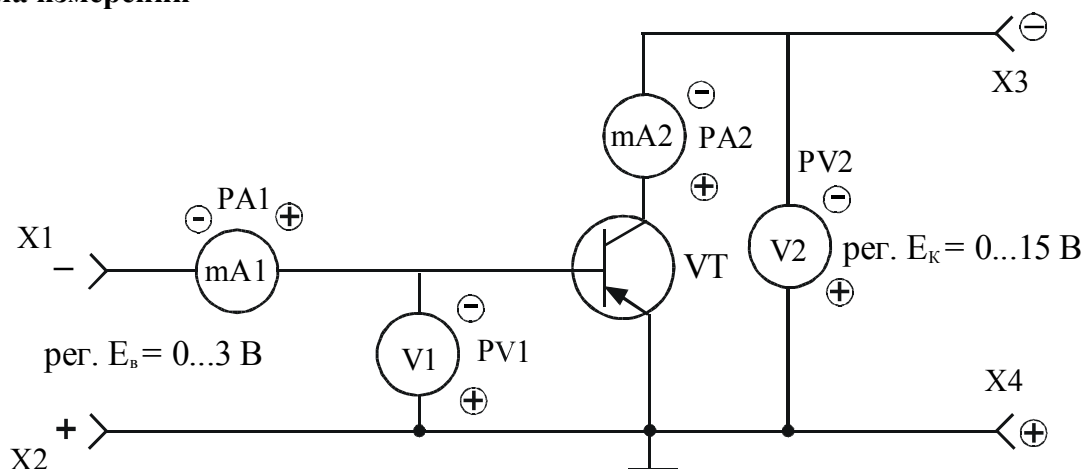
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером»	Зачет

1. Цель работы: изучение свойств биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ, путем измерения статических входных и выходных характеристик и определение h-параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- модуль NI ELVIS;
- исследуемый транзистор;
- ПК.

3. Схема измерений



3. Результаты измерений

Таблица 1. Входные характеристики транзистора по схеме с ОЭ

$$I_B = f(U_{БЭ}) \text{ при } U_{КЭ} = \text{const}$$

U _{БЭ} , В	I _Б , мкА		
	U _{КЭ} = 0	U _{КЭ} = 5В	U _{КЭ} = 10В
0			

Таблица 2. Выходные характеристики транзистора по схеме с ОЭ

$$I_K = f(U_{КЭ}) \text{ при } I_B = \text{const.}$$

U _{КЭ} , В	I _К , мА		
	I _Б =100 мкА	I _Б = 200 мкА	I _Б = 300 мкА
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Лабораторная работа № ____

«Исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером»

1. Цель работы: исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером в различных режимах.

2. Перечень используемого оборудования:

- базовый лабораторный стенд NI ELVIS;
- лабораторный модуль М5.

3. Краткие теоретические сведения

Биполярные транзисторы чаще всего используются в усилительных каскадах. На рис. 1 изображен транзисторный каскад с общим эмиттером. Режим работы биполярного транзистора в таком каскаде определяется силой базового тока. Для того чтобы базовый ток был стабилен, база соединяется с источником напряжения E_B через высокоомное сопротивление R_B

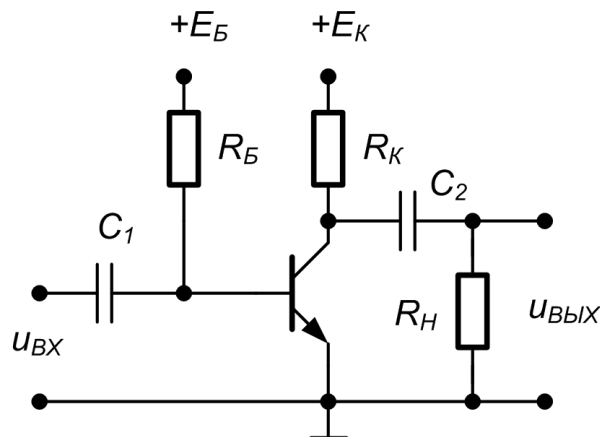


Рис. 1. Транзисторный каскад с общим эмиттером

Для определения режима работы транзисторного каскада удобно построить линию нагрузки на выходной характеристике транзистора. Данный способ позволяет описать поведение транзистора во всех основных режимах работы, а именно: насыщения, усиления и отсечки.

Режим насыщения имеет место в случае, когда ток коллектора не управляется током базы. Эта ситуация возникает при условии $\beta_{DC} \cdot I_B > I_{KH}$, где I_{KH} – ток насыщения коллектора, β_{DC} – коэффициент усиления тока базы в статическом режиме:

$$\beta_{DC} = \frac{I_K}{I_B}. \quad (1)$$

Значение этого тока определяется сопротивлением R_K в цепи коллектора и напряжением источника питания E_K :

$$I_{KH} \approx \frac{E_K}{R_K}. \quad (2)$$

Режим насыщения характеризуется низким падением напряжения коллектор-эмиттер (порядка 0,1 В). Для перевода транзистора в этот режим необходимо, чтобы через базу транзистора протекал ток, больший, чем ток насыщения базы I_{BH} :

$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta_{DC}} \quad (3)$$

Для того чтобы базовый ток стал равным току насыщения, сопротивление резистора R_B следует выбрать равным:

$$R_B = R_{BH} = \frac{E_B}{I_{BH}} \quad (4)$$

В режиме усиления ток коллектора меньше тока насыщения I_{KH} и для его вычисления можно воспользоваться уравнением линии нагрузки цепи коллектора:

$$I_K = \frac{E_K - U_{KЭ}}{R_K} \quad (5)$$

Рабочая точка транзисторного каскада

Рабочая точка транзисторного каскада в статическом режиме задается током базы и напряжением на коллекторе.

Базовый ток транзистора в схеме (рис. 1) определяется как ток через сопротивление в цепи базы R_B :

$$I_B = \frac{E_B - U_{БЭ}}{R_B} \quad (6)$$

Он может быть также определен как точка пересечения входной ВАХ транзистора и линии нагрузки цепи базы (точка 1 на рис. 2, а).

Ток коллектора определяется точкой пересечения линии нагрузки цепи коллектора и выходной характеристики транзистора (точка 1 на рис. 2, б).

Значение тока коллектора можно вычислить по формуле:

$$I_K = \beta_{DC} \cdot I_B \quad (7)$$

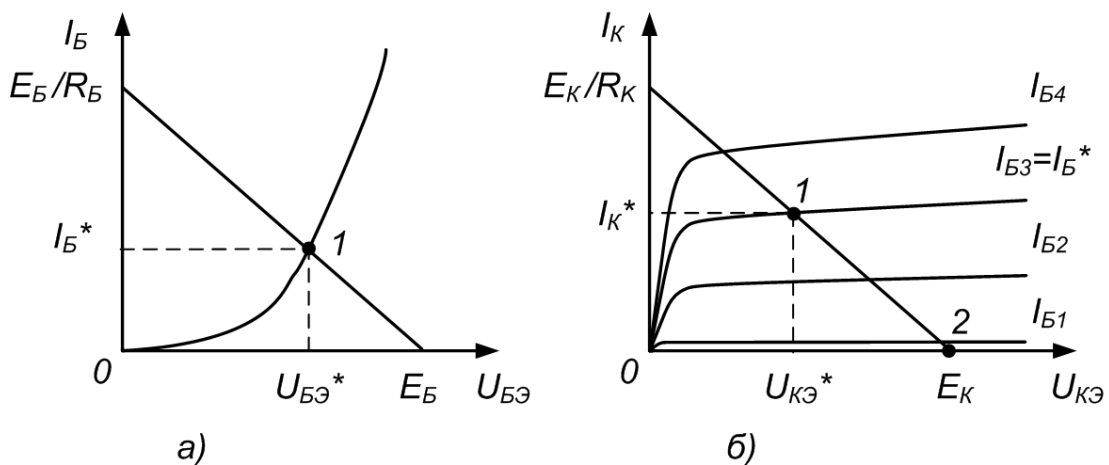


Рис. 2. Определение рабочей точки транзистора по входной (а) и выходной (б) ВАХ транзистора

Напряжение коллектор-эмиттер определяется из уравнения линии нагрузки цепи коллектора:

$$U_{кэ} = E_K - I_K \cdot R_K. \quad (8)$$

В режиме отсечки ток коллектора равен нулю и не создает на резисторе R_K падения напряжения. Следовательно, напряжение $U_{кэ}$ максимально и равно напряжению источника питания E_K . Данный режим соответствует точке 2 на рис. 2, б.

Работа транзисторного каскада в режиме малого сигнала

При работе транзисторного каскада в режиме малого сигнала обеспечивается наибольшее усиление входного сигнала при минимальных искажениях. Характерной особенностью данного режима является то, что при всех возможных значениях входного сигнала рабочая точка транзистора не выходит из линейной области.

Расчет режима малого сигнала состоит в нахождении постоянных и переменных составляющих токов и напряжений в транзисторном каскаде. Расчет постоянных составляющих позволяет найти параметры рабочей точки транзисторного каскада (статический режим). Расчет переменных составляющих – усилительные свойства каскада в этой точке.

Коэффициент усиления по напряжению определяется отношением амплитуд выходного синусоидального напряжения к входному:

$$K_y = \frac{U_{B\Delta X m}}{U_{B X m}} \quad (9)$$

Величина этого параметра в схеме с общим эмиттером равна отношению сопротивления в цепи коллектора r_K к сопротивлению в цепи эмиттера $r_э$:

$$K_y = \frac{r_K}{r_э} \quad (10)$$

Сопротивление в цепи коллектора r_K определяется параллельным соединением сопротивления коллектора R_K и сопротивления нагрузки R_H , роль которого может играть, например, входное сопротивление следующего каскада:

$$r_K = \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H} \quad (11)$$

Сопротивление в цепи эмиттера $r_э$ – это сопротивление эмиттерного перехода:

$$r_э = 25 \text{ мВ}/I_э, \quad (12)$$

причем в силу малости тока базы можно считать $I_э = I_K$. Если в цепи эмиттера включен резистор сопротивлением $R_э$, то коэффициент усиления следует рассчитывать по формуле:

$$K_y = \frac{r_K}{r_э + R_э}. \quad (13)$$

Важными параметрами транзисторного каскада являются также входное и выходное сопротивления.

Входное сопротивление усилителя по переменному току равно отношению амплитуд синусоидального входного напряжения $U_{B X m}$ и входного тока $I_{B X m}$:

$$r_{BX} = \frac{U_{B X m}}{I_{B X m}}. \quad (14)$$

Эта величина также вычисляется как параллельное соединение входного сопротивления транзистора $r_i = \beta_{AC} \cdot r_e$ и резисторов в цепи смещения базы, где β_{AC} – динамический коэффициент усиления тока базы на переменном токе:

$$\beta_{AC} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \quad (15)$$

В схеме рис.1 используется один резистор R_B , поэтому входное сопротивление каскада равно:

$$\frac{1}{r_{BX}} = \frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_B}. \quad (16)$$

Значение дифференциального **выходного сопротивления** схемы находится по напряжению U_{XXm} холостого хода на выходе усилителя и по напряжению U_{BIXm} , измеренному для сопротивления нагрузки R_H , из следующего уравнения, решаемого относительно r_{BIX} :

$$\frac{U_{BIXm}}{U_{XXm}} = \frac{R_H}{R_H + r_{BIX}} \quad (17)$$

Выбор рабочей точки транзисторного каскада определяет особенности работы транзисторного каскада. Максимальная величина неискаженного переменного напряжения на выходе может быть получена при условии, когда в статическом режиме постоянное напряжение на коллекторе равно половине напряжения коллекторного источника питания $U_K = E_K / 2$.

При неудачном выборе амплитуды входного сигнала и величины базового смещения возникают искажения: выходное напряжение принимает несинусоидальную форму. Для устранения искажений нужно скорректировать положение рабочей точки или уменьшить амплитуду входного сигнала.

4. Порядок проведения работы

Подготовьте шаблон отчета в редакторе **MS Word**.

Установите ключ в разъем модуля **M5** лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис. 3.

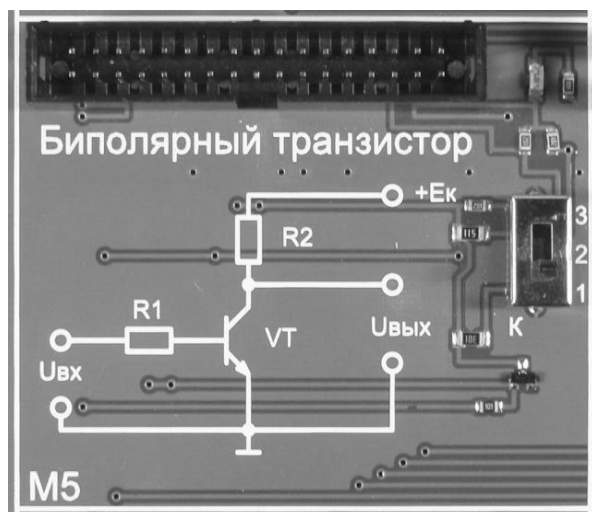


Рис. 3. Внешний вид модуля **M5**

Загрузите и запустите программу **Lab8(M5).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП (рис. 4), необходимого для выполнения лабораторного задания.

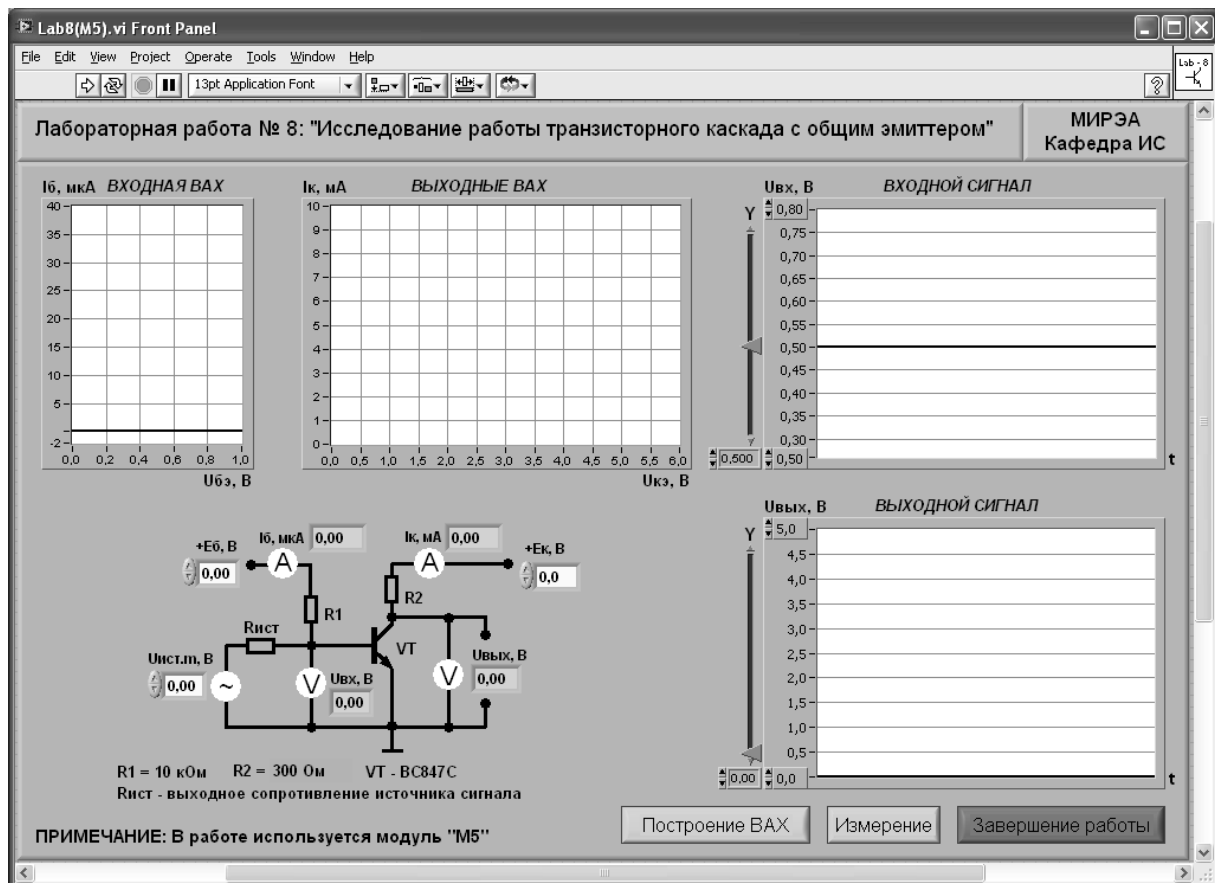


Рис. 4. Лицевая панель ВП

Задание. Установка рабочей точки и исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером

4.1. Установите переключатель «К» модуля **М5** в положение «1». При этом в цепь коллектора транзистора будет включен резистор сопротивлением 300 Ом.

4.2. Для построения вольт-амперных характеристик транзистора нажмите кнопку «**Построение ВАХ**». На графических индикаторах «Входная ВАХ» и «Выходные ВАХ» будут построены соответствующие характеристики. Скопируйте в отчет полученные изображения ВАХ транзистора.

4.3. С помощью органов управления на лицевой панели ВП установите амплитуду напряжения источника входного сигнала $U_{ист.м} = 0$, и величину напряжения источника питания в цепи коллектора $E_K = 5$ В. Нажмите кнопку «**Измерение**». На графике выходных характеристик транзистора будет построена линия нагрузки. Скопируйте в отчет изображение, полученное на графическом индикаторе.

4.4. Регулируя напряжение источника смещения базы $+E_B$, установите такое значение тока базы I_B , при котором рабочая точка находится в середине линии нагрузки. По цифровым индикаторам лицевой панели ВП определите и занесите в табл. 1 параметры статического режима транзисторного каскада с общим эмиттером для $R = 300, 510$ и 1000 Ом, устанавливая переключатель К на макете в положение 2 и 3.

Таблица 1

I_B , мкА		$U_{БЭ}$, В	I_K , мА	U_K , В
R = 300 Ом				
R = 510 Ом				
R = 1 кОм				

4.5. Постепенно увеличивая амплитуду напряжения источника входного сигнала $U_{ист.м}$, получите на графическом индикаторе ВП максимальный неискаженный выходной сигнал. Скопируйте изображение выходного сигнала в отчет. Сопоставьте осциллограммы входного и выходного сигналов транзисторного каскада с общим эмиттером и сделайте вывод о соотношении их фаз.

4.6. Измерьте амплитуды входного U_{BX} и выходного $U_{ВЫХ}$ сигналов. Для этого по соответствующей осциллограмме с помощью горизонтальной линии курсора определите максимальное (u_{max}) и минимальное (u_{min}) мгновенные значения сигнала. Для удобства измерений масштаб шкалы вертикальной оси графика может быть изменен с помощью цифровых элементов управления, задающих ее начальное и конечное значения. Амплитуду сигнала вычислите по формуле:

$$U_m = (u_{max} - u_{min}) / 2.$$

Полученный результат запишите в отчет.

4.7. Используя полученные в п. 4.6 значения амплитуд входного и выходного сигналов, определите коэффициент усиления транзисторного каскада по формуле:

$$K_y = U_{ВЫХ.м} / U_{ВХ.м}.$$

Полученный результат запишите в отчет.

4.8. Вычислите коэффициент усиления транзисторного каскада по формуле:

$$K_y = r_K / r_Э.$$

При этом из-за отсутствия сопротивления нагрузки ($R_H = \infty$) в соответствии с выражением (11) $r_K = R_K$. Значение сопротивления $r_Э$ можно определить по формуле (12), учитывая, что $I_Э \approx I_K$. Величину тока коллектора I_K следует взять из табл. 1. Сравните полученный результат со значением коэффициента усиления транзисторного каскада, определенным в п. 4.7. Выводы и результаты запишите в отчет.

4.9. Исследуйте, как влияет положение рабочей точки на работу транзисторного каскада с общим эмиттером. Для этого, регулируя напряжение источника питания в цепи базы E_B , измените значение тока базы примерно на (30 ÷ 40)% от величины I_B , полученной в п. 4.4, сначала в сторону увеличения, а затем в сторону уменьшения. Пронаблюдайте характер искажения выходного сигнала. Скопируйте в отчет изображение, полученное на графическом индикаторе ВП в обоих случаях. Объясните причину наблюдаемых искажений выходного сигнала.

4.10. Сравните результаты, полученные при разных значениях сопротивления резистора в цепи коллектора. Выводы запишите в отчет.

4.11. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Завершение работы».

5. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерения, таблицы, графики, расчеты, выводы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Какие вам известны режимы работы биполярного транзистора?

6.2. Какие вы знаете способы задания режима работы по постоянному току в транзисторном каскаде с общим эмиттером?

6.3. Как построить линию нагрузки на семействе выходных характеристик биполярного транзистора?

6.4. От каких параметров зависит коэффициент усиления транзисторного каскада с общим эмиттером?

6.5. При каком условии биполярный транзистор будет находиться в режиме отсечки?

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.-
3. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
4. *Колпакова Т.И., Чернова О.А.* Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.
5. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008г.

Ответы на вопросы

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

[illegible]

Группа	Лаборатория Электроники	Дата
Ф.И.О.	Лабораторное занятие № ____ «Исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером»	Зачет

1. Цель работы: Исследование работы транзисторного каскада с общим эмиттером в динамическом режиме.

2. Перечень используемого оборудования:

- базовый лабораторный стенд NI ELVIS;
- лабораторный модуль M5.

3. Схема измерений

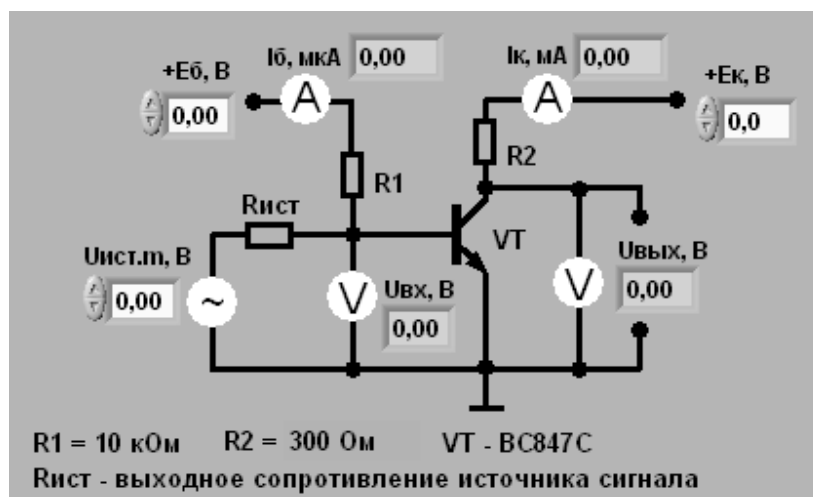


Рис. 1. Схема транзисторного каскада с общим эмиттером

4. Получение статических характеристик транзистора

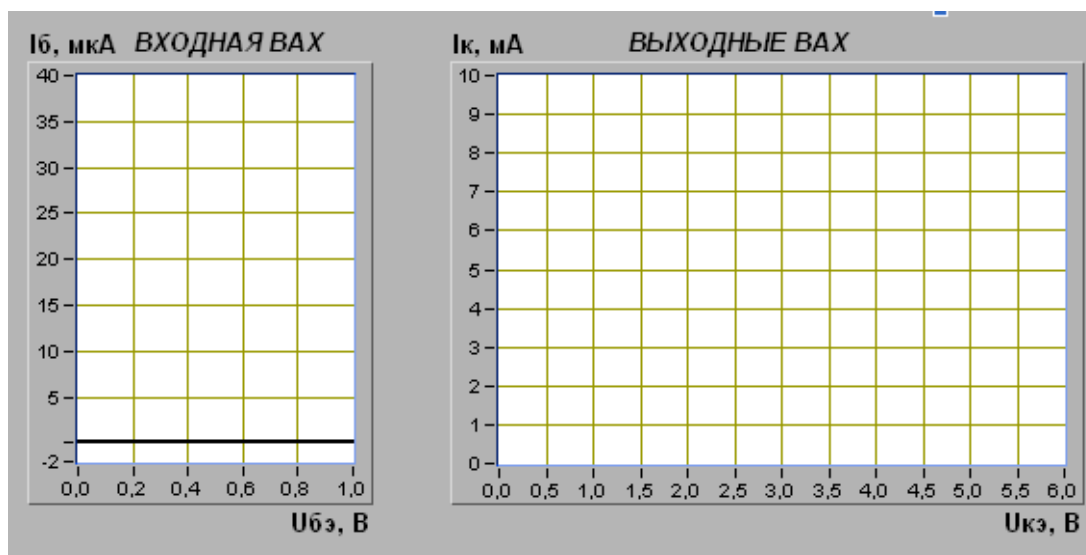


Рис. 2. Статические характеристики транзистора

Таблица 1. Параметры точки покоя

Величина R2, Ом	U _{бэ} , В	I _б , мкА	I _к , мА	U _к , В
300				
510				
1000				

5. Измерение коэффициента усиления усилителя

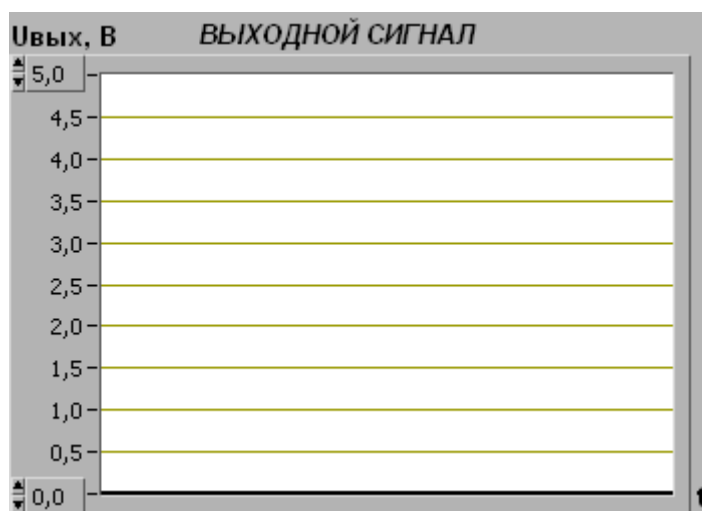


Рис. 3. Осциллограмма выходного сигнала

Экспериментальный коэффициент усиления

$$K_{у \text{ эксп.}} = U_{\text{вых.п}} / U_{\text{вх.п}}$$

Теоретический коэффициент усиления.

$$K_{у \text{ теор.}} = R_k / r_{э}, \text{ где } r_{э} = 25 \text{ мВ} / I_{э} \text{ мА}$$

$$I_{э} = I_k \text{ из табл. 1}$$

Таблица 2. Коэффициенты усиления усилителя

Параметр	R2 = 300 Ом	R2 = 510 Ом	R2 = 1000 Ом
U _{вых.п} , В			
U _{вх.п} , В			
K _{у эксп}			
K _{у теор}			

6. Исследование влияния положения рабочей точки на форму выходного сигнала

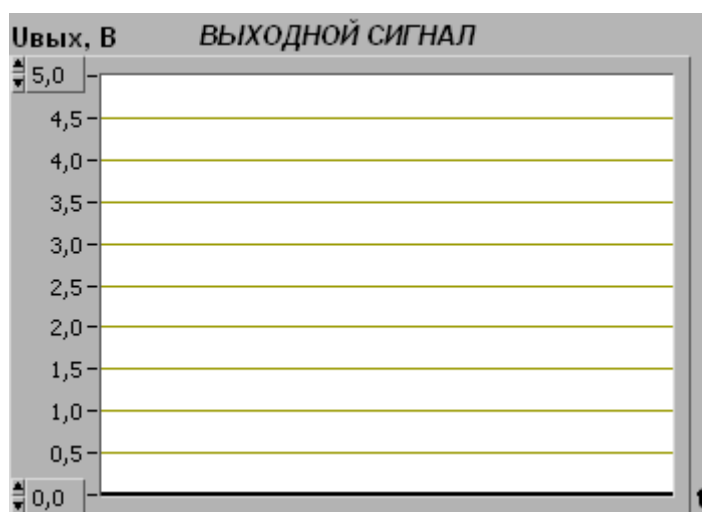


Рис. 4. Форма выходного сигнала при $I_b = 1,3 \text{ мА}$

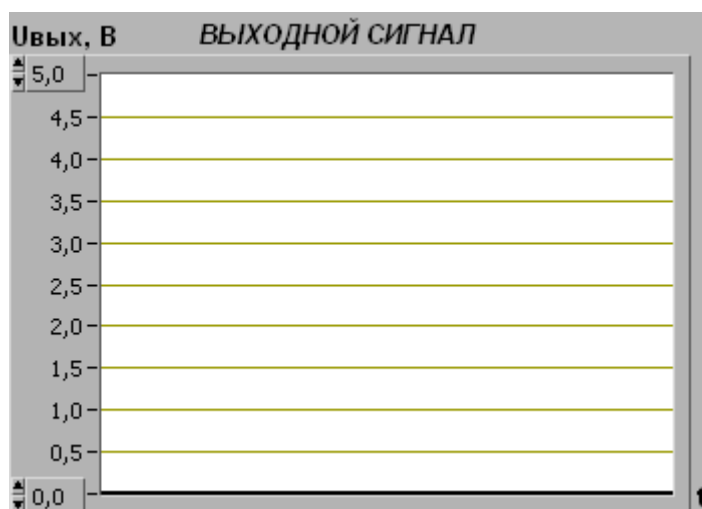


Рис. 5. Форма выходного сигнала при $I_b = 0,7 \text{ мА}$

7. Выводы:

7. 1. Сделать вывод о влиянии резистора в цепи коллектора на положение нагрузочной характеристики, коэффициенты усиления усилителя.

7.2. Сделать вывод о влиянии точки покоя на искажение выходного сигнала и объяснить причины искажения выходного сигнала.

Лабораторная работа № _____

«Исследование ключа на биполярном транзисторе»

1. Цель работы: изучение процессов переключения биполярного транзистора в различных схемах ключей путем наблюдения осциллограмм входного и выходного напряжения, измерение параметров выходного импульса.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- модуль с ключевыми схемами на биполярном транзисторе;
- осциллограф С1-65 (или С1-72).

3. Краткие теоретические сведения:

Ключ — важный элемент цифровых схем, используемый для коммутации нагрузки (замыкания и размыкания цепи). С помощью ключей выполняют схемы, реализующие различные логические функции, управляющие элементами индикации, а также различными исполнительными устройствами.

Простейший ключ выполняется на транзисторе, включенном по схеме с ОЭ, имеющем ограничительное сопротивление в цепи базы (рис. 1, а). Этот транзистор имеет большое время выключения $t_{\text{выкл}} = t_{\text{расс}} + t_{\text{фр}}$ из-за рассасывания избыточного заряда из базы (рис. 2). Задержка выключения зависит от коэффициента насыщения транзистора $K_{\text{нас}} = I_{\text{б}}/I_{\text{б.нас}}$, где $I_{\text{б}}$ — ток базы; $I_{\text{б.нас}} = I_{\text{к.нас}}/\beta$ — ток базы, полностью открывающий транзистор до порога насыщения. Обычно $K_{\text{нас}} = 3 \dots 5$. Время включения транзистора $t_{\text{вкл}} \approx t_{\text{ср}}$ (рис. 2).

Время включения транзистора зависит от времени пролета носителей через базу и времени заряда входной емкости транзистора: $C_{\text{вх}} = C_{\text{к}} + C_{\text{б}}$.

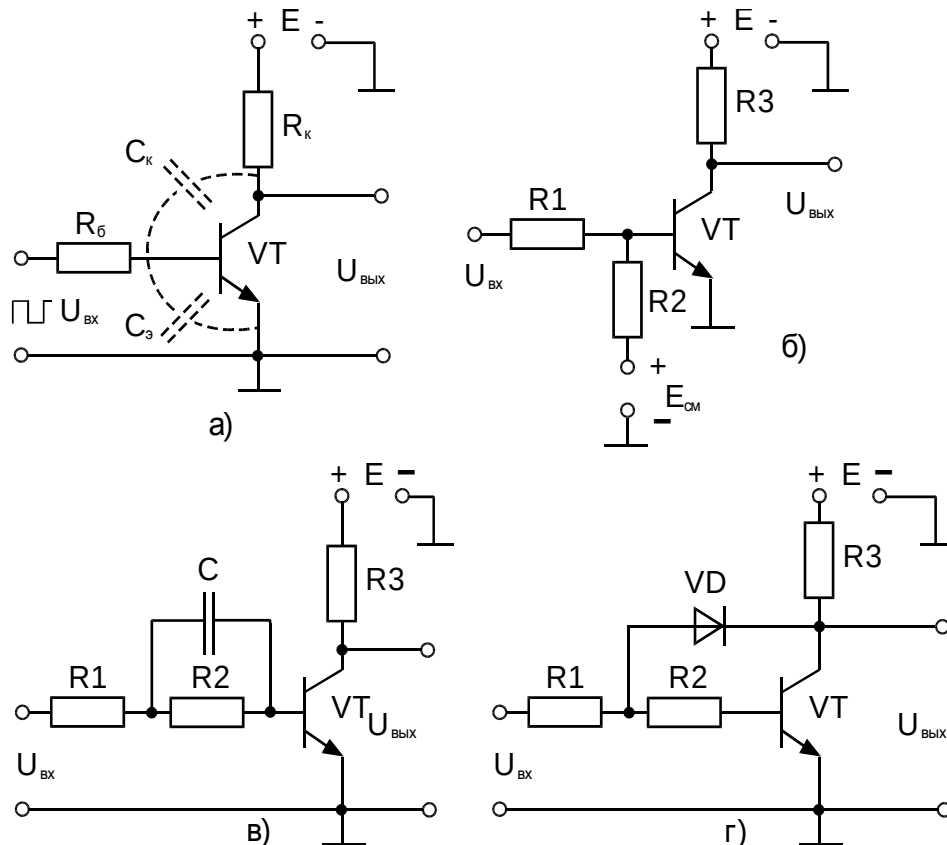


Рис. 1. Различные схемы ключей на биполярных транзисторах

Для повышения быстродействия ключа используют:

- а) форсирующий конденсатор (рис. 1в), во время переходного процесса увеличивающий I_b (соответственно $K_{нас}$) для ускорения отпирания и запираания транзистора;
- б) источник запирающего смещения цепи базы (рис. 1б), который «вытягивает» носители из базы при запираании транзистора;
- в) нелинейную обратную связь (VD), снижающую ток базы при сильном отпирании транзистора. Быстродействующий диод ответвляет часть тока в коллекторную цепь и устраняет режим насыщения, следовательно, исчезает время рассасывания $t_{расс}$ (рис. 1г).

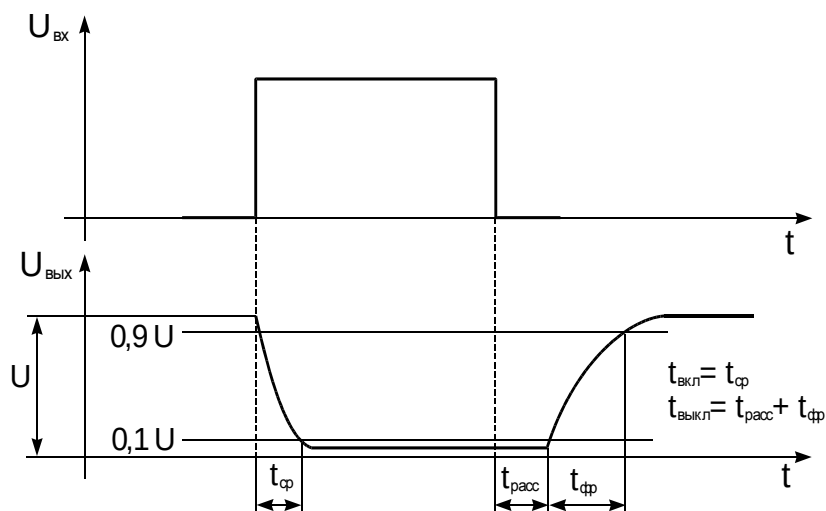


Рис. 2. Осциллограммы входного и выходного импульсов ключа

4. Порядок выполнения работы:

4.1. Изучить краткие теоретические сведения о работе ключа.

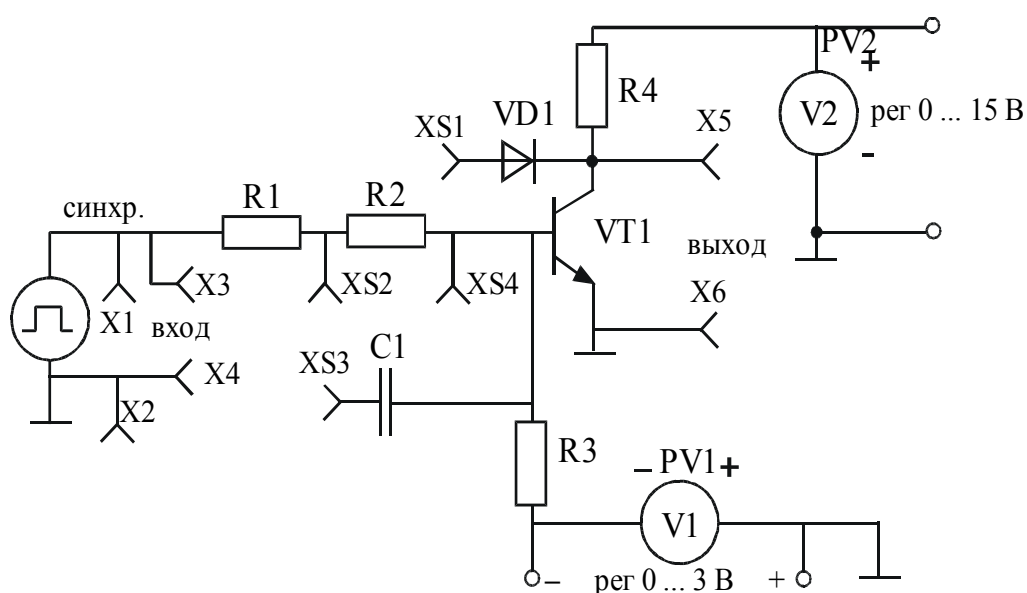


Рис. 3. Схема измерений

4.2. Краткое описание макета

В макете есть встроенный генератор прямоугольных импульсов. Клеммы «Вход» предназначены для наблюдения осциллограммы входного сигнала, «Выход» — выходного сигнала. Клеммы XS1...XS4 и перемычка позволяют изменять схемы ключа на транзисторе (рис. 1, а–г).

Таблица. Результаты измерений

№	Название схемы	Положен. перемычек	$t_{фр},$ мкс	$t_{расс},$ мкс	$t_{ср},$ мкс	$E_{см},$ V1, В	$E_{пит},$ V2, В	Примечания
1	Ключ с малым $K_{нас}$	нет				0	3...4	
2	Ключ с большим $K_{нас}$	XS2—XS4				0	3...4	Замкнут R2
3	Ключ с отрицат. смещением	XS2—XS4				1	3...4	Замкнут R2, подано смещение
4	Ключ с форсиров. конденсатором	XS2—XS3				0	3...4	C1 соединен со входом ключа
5	Ключ с нелинейной обратной связью	XS2—XS1				0	3...4	VD соединен со входом ключа

4.3. Подготовка макета к измерениям

4.3.1. Соединить вход X осциллографа C1-65 с гнездами «Синхр» макета (рис. 3).

4.3.2. Поставить переключатели полярности источников 0...3 В, 0...15 В стенда СЛИ-1, вольтметров V1, V2 в нужное по схеме положение (-, + без кружочков!).

4.3.3. Поставить переключатель S1 на левом пульте управления СЛИ-1 в положение 6,3 В (включение генератора импульсов макета).

4.3.4. Поставить регуляторы блоков питания 0...3 и 0...15 В в крайнее левое положение.

4.4. Подготовка осциллографа C1-65 к работе.

4.4.1. Переключатель «Синхронизация» поставить в положение 1:1; (справа вверху).

4.4.2. Поставить переключатель «Развертка» в положение X1 (посередине вверху), а переключатель «Время/дел» в положение 0,1 мс/дел, переключатель вида развертки в верхнее положение Z (посередине внизу)

Ручки «↑» и «↔» поставить в средние положения.

4.4.3. Переключатель «Усилитель Y» поставить в положение 1В/дел. Тумблер « $\approx \sim$ » поставить в левое положение « $\approx$ ».

4.5. Подготовка лабораторной установки к измерениям

4.5.1. Включить тумблер «Вкл» на правом и левом блоках питания СЛИ-1.

4.5.2. Включить тумблер «Сеть» C1-65.

4.5.3. Отрегулировать яркость и четкость изображения ручками яркости «*» и четкости «◎».

4.5.4. Подключить кабель усилителя Y ко «Входу» макета. Наблюдать прямоугольные импульсы входного сигнала. Для получения неподвижного изображения надо использовать ручки «ВЧ» и «Уровень» блока синхронизации C1-65.

4.5.5. Установить пределы измерения вольтметров V1, V2 в положение 5 В.

4.5.6. Установить по V1 смещение на базе «0 В» ручками «Грубо», «Плавно» источника E 0...3 В.

4.5.7. По V2 установить напряжение питания на коллекторе транзистора $U_{п} = 3...4$ В ручками «Грубо», «Плавно» источника E 0...15В.

4.6. Наблюдать осциллограммы выходного напряжения ключа на экране C1-65. Для удобства измерения процессов малой длительности поставить переключатель «Время/дел» в положение 1...0,1 мс/дел. В этом случае можно наблюдать срез или фронт только одного импульса. Для этого переключатель «+ / -» блока синхронизации C1-65 ставят соответственно в положение «+» (наблюдение среза) и «-» (наблюдение фронта импульса).

4.7. Исследование ключа с малым $K_{\text{нас}}$ (перемычки нет)

4.7.1. Подключить кабель усилителя Y ко «Входу» макета. Ручками установить фронт входного импульса на одну из вертикальных линий (начало координат).

4.7.2. Поставить переключатель С1-65 «+ / –» в положение «+». Подключить кабель к «Выходу» ключа, измерить длительность среза выходного импульса (рис. 4а). Заполнить таблицу.

4.7.3. Поставить переключатель С1-65 «+ / –» в положение «–». Подключить кабель усилителя Y ко «Входу» макета и проверить совпадение среза входного импульса с началом координат.

4.7.4. Подключить кабель усилителя Y к «Выходу» макета и измерить время рассасывания $t_{\text{расс}}$ и длительность переднего фронта выходного импульса (рис. 4б). Заполнить таблицу.

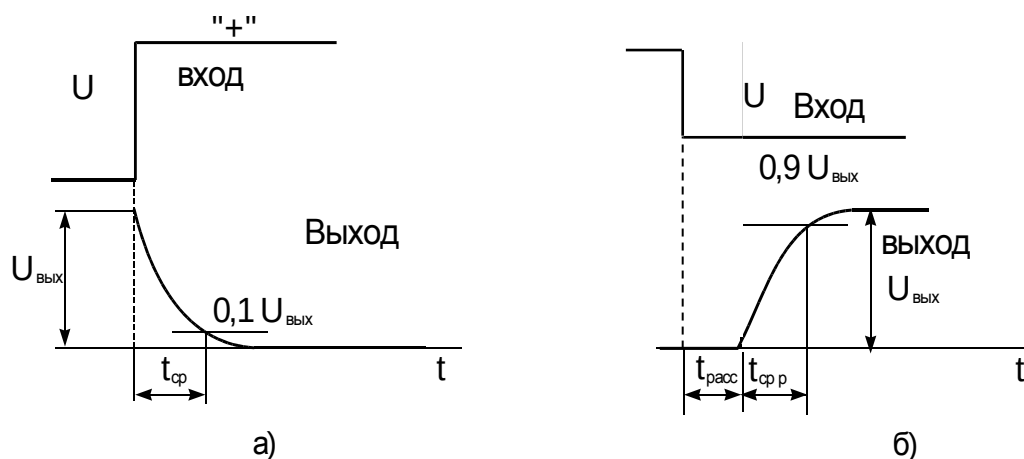


Рис. 4. Осциллограммы входного (вверху) и выходного (внизу) сигналов ключа

4.8. Исследовать ключ с большим $K_{\text{нас}}$. Для этого соединить перемычкой клеммы XS2—XS4. Повторить п.п. 4.9.1–4.9.4.

4.9. Исследовать ключ с источником отрицательного смещения. По V1 установить $U_{\text{см}} = 1\text{В}$. Измерить $t_{\text{ср}}$, $t_{\text{фр}}$, $t_{\text{расс}}$ (п.п. 4.9.1–4.9.4). Заполнить табл. 1.

4.10. Исследовать ключ с форсирующим конденсатором. Соединить перемычкой клеммы XS2 и XS3. Заполнить таблицу (п.п. 4.9.1–4.9.4).

4.11. Исследовать ключ с нелинейной обратной связью. Соединить перемычкой клеммы XS2 и XS1, повторить п.п. 4.9.1–4.9.4. Заполнить таблицу.

4.12. Сделать выводы о влиянии $K_{\text{нас}}$, запирающего смещения, форсирующего конденсатора и диода на параметры ключа (длительность переходных процессов).

5. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерений, перечень используемых приборов, таблица, осциллограммы входного и выходного импульсов, выводы.

6. Контрольные вопросы

6.1. Что такое $t_{\text{расс}}$? Какова его физическая сущность?

6.2. Как определить $t_{\text{ср}}$ и $t_{\text{фр}}$?

6.3. От чего зависит $t_{\text{ср}}$ и $t_{\text{фр}}$? Как их уменьшить?

6.4. Как можно уменьшить $t_{\text{расс}}$?

6.5. Что происходит в транзисторе при использовании запирающего смещения?

6.6. К чему приводит увеличение $K_{\text{нас}}$?

6.7. Какие ключи наиболее быстродействующие и почему?

6.8. Как влияют на работу ключа форсирующий конденсатор и нелинейная обратная связь?

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
3. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
4. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Ответы на вопросы

[illegible]

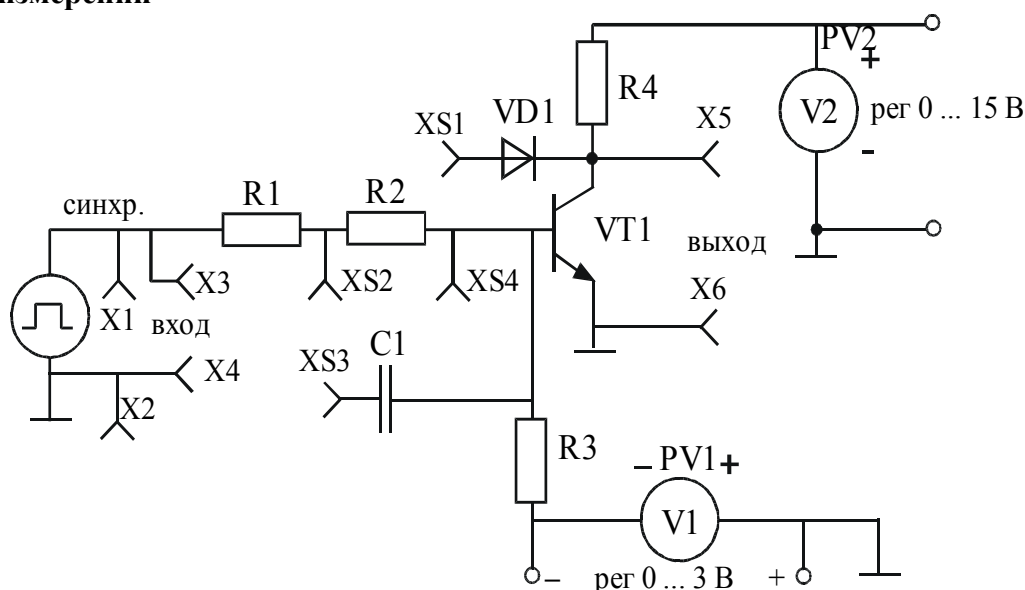
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование ключа на биполярном транзисторе»	Зачет

1. Цель работы: изучение процессов переключения биполярного транзистора в различных схемах ключей путем наблюдения осциллограмм входного и выходного напряжения, измерение параметров выходного импульса.

2. Перечень используемого оборудования:

- источники питания СЛИ-1;
- модуль с ключевыми схемами на биполярном транзисторе;
- осциллограф С1-65 (или С1-72).

3. Схема измерений



4. Результат измерений

Таблица. Результат измерений

№	Название схемы	Положен. перемычек	$t_{фр}$, мкс	$t_{расс.}$, мкс	$t_{ср}$, мкс	$E_{см}$, V1, В	$E_{пит}$, V2, В	Примечания
1	Ключ с малым $K_{нас}$	нет				0	3...4	
2	Ключ с большим $K_{нас}$	XS2—XS4				0	3...4	Замкнут R2
3	Ключ с отрицат. смещением	XS2—XS4				1	3...4	Замкнут R2, подано смещение
4	Ключ с форсиров. конденсатором	XS2—XS3				0	3...4	C1 соединен со входом ключа
5	Ключ с нелинейной обратной связью	XS2—XS1				0	3...4	VD соединен со входом ключа

5. Выводы.

- 5.1. Объясните, какие физические процессы «тормозят» работу ключа?
5.2. Какими способами можно увеличить быстродействие ключа?

This image shows a single page of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, leaving small margins at the top and bottom. There are no vertical margin lines, and the page is completely blank except for the lines themselves.

Лабораторная работа № ____ «Исследование полевого транзистора»

1. Цель работы: измерение характеристик и определение основных параметров полевого транзистора.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ — 1;
- модуль со схемой включения полевого транзистора;
- исследуемый полевой транзистор, распаянный в установочном разъеме.

3. Краткие теоретические сведения

Полевой (канальный или униполярный) транзистор — это полупроводниковый прибор, у которого есть один р-п переход и три вывода: исток, сток, затвор. В полевом транзисторе ток создают основные носители заряда под действием продольного электрического поля стока, а управление величиной тока осуществляется поперечным электрическим полем, создаваемым напряжением, приложенным к управляющему электроду — затвору.

Полевые транзисторы с изолированным затвором называют МДП (МОП) транзисторами.

4. Схема измерения

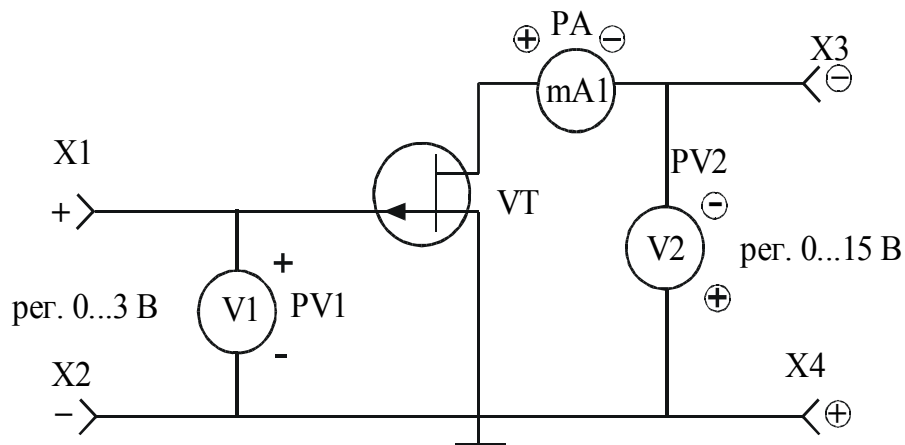


Рис. 1. Схема включения полевого транзистора

5. Порядок выполнения работы

5.1. Познакомиться с конструкцией полевого транзистора и его справочными данными.

5.2. Подготовить стенд к работе согласно общим положениям. Установить исследуемый транзистор в гнездо модуля, соблюдая маркировку, полярность источника напряжения 0...3 В на ПУ1, 0...15 В на ПУ2, вольтметров V1, V2 и миллиамперметра в соответствии с обозначениями на схеме.

Включить блоки БП1 и БП2 тумблерами «Вкл», о наличии напряжения сигнализирует индикаторная лампа. Необходимые пределы измерений вольтметров V1, V2 и миллиамперметра mA1, устанавливаются, исходя из ожидаемых значений напряжения и токов.

5.3. Измерение стоковых характеристик транзистора.

Измерение стоковой характеристики производится для четырех значений напряжения на затворе $U_{зи} = 0; 0, 2; 0, 4; 0, 6$ В, которые устанавливают ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...3 В по вольтметру V2. Изменяя $U_{си}$ по вольтметру V2 ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...15 В, измеряют I_c по mA1, заполняя табл. 1.

Таблица 1. Стоковая характеристика транзистора КП102
 $I_c = f(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$

$U_{си}, \text{В}$	I_c, mA			
	$U_{зи} = 0$	$U_{зи} = 0,2 \text{ В}$	$U_{зи} = 0,4 \text{ В}$	$U_{зи} = 0,6 \text{ В}$
0				
1				
2				
3				
...				
10				
11				
12				

По окончании измерений ручки «Грубо» и «Плавно» источников 0...3 В на ПУ1 и 0...15 В на ПУ2 поставить в крайнее положение.

5.4. Измерение стоко-затворной характеристики полевого транзистора производится при $U_{си} = 5 \text{ В}$ (установить ручками «Грубо» и «Плавно» на ПУ2 источника 0...15 В по вольтметру V2). Изменяя $U_{зи}$ ручками «Грубо» и «Плавно» на ПУ1 источника 0...3 В по вольтметру V1, записать величину тока стока в табл. 2.

Таблица 2. Стоко-затворная характеристика транзистора
КП 102. $I_c = f(U_{зи})$ при $U_{си} = 5 \text{ В}$

$U_{зи}, \text{В}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
I_c, mA										

По окончании измерений ручки «Грубо» и «Плавно» источников 0...3 В на ПУ1 и 0...15 В на ПУ2 поставить в крайнее левое положение, выключить БП1 и БП2, отключить стенд от сети.

6. Обработка результатов измерений

Построить по табл. 1 и 2 стоковые и стоко-затворные характеристики полевого транзистора, определить параметры:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_3}, \frac{\text{mA}}{\text{В}} \quad \text{при } U_{си} = \text{const, крутизна стоко-затворной характеристики;}$$

$$R_i = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c}, \text{Ом} \quad \text{при } U_{зи} = \text{const, дифференциальное сопротивление;}$$

$$\mu R_i = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c}, S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_3}, \frac{\text{mA}}{\text{В}} \quad \text{при } I_c = \text{const, коэффициент усиления по напряжению.}$$

7. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерения, табл. 1 и 2, ВАХ транзистора, параметры, выводы.

8. Контрольные вопросы

8.1. Расскажите об устройстве и принципе работы полевого транзистора с управляющим р-п переходом.

8.2. Начертите схему включения полевого транзистора с р и n-каналами с общим истоком с управляющим р-п переходом, укажите полярности источников напряжения.

8.3. Приведите условные обозначения и примеры маркировки полевых транзисторов.

8.9. Расскажите о возможностях практического использования полевых транзисторов в электронной аппаратуре.

[illegible]

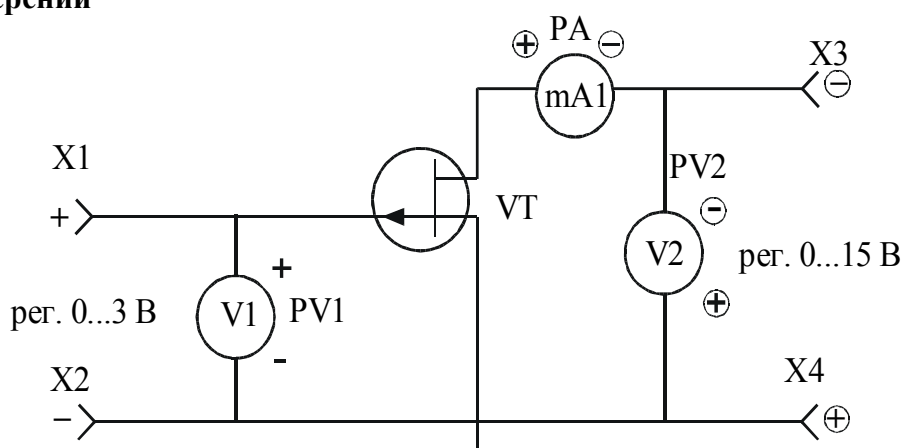
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование полевого транзистора»	Зачет

1. Цель работы: измерение характеристик и определение основных параметров полевого транзистора.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- модуль схемой включения полевого транзистора;
- исследуемый полевой транзистор, распаянный в установочном разъеме.

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

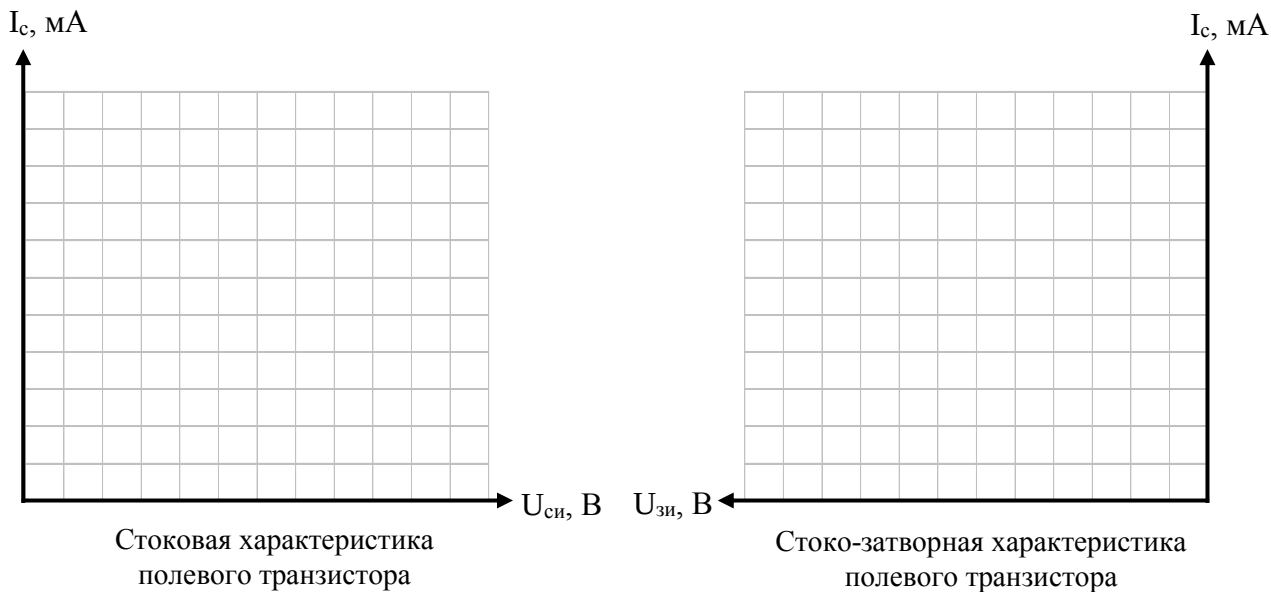
**Таблица 1. Стоковая характеристика транзистора
КП102 $I_c = f(U_{cu})$ при $U_{зи} = \text{const}$**

$U_{cu}, \text{ B}$	$I_c, \text{ mA}$			
	$U_{зи} = 0$	$U_{зи} = 0,2 \text{ B}$	$U_{зи} = 0,4 \text{ B}$	$U_{зи} = 0,6 \text{ B}$
0				
1				
2				
3				
...				
10				
11				
12				

**Таблица 2. Стоко-затворная характеристика транзистора
КП 102 $I_c = f(U_{зи})$ при $U_{cu} = 5 \text{ B}$**

$U_{зи}, \text{ B}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$I_c, \text{ mA}$										

5. Экспериментальные графики



6. Результаты измерений

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}}, \frac{\text{mA}}{\text{В}} \text{ при } U_{си} - \text{const, крутизна стоко-затворной характеристики;}$$

$$R_i = \frac{\Delta U_{\text{си}}}{\Delta I_c}, \text{ Ом при } U_{\text{зи}} - \text{const, дифференциальное сопротивление;}$$

$$\mu = SR_i = \frac{\Delta U_{ci}}{\Delta U_{zi}} \text{ при } I_c - \text{const, коэффициент усиления.}$$

7. Выводы.

7.1. Почему у полевых транзисторов большое внутренне сопротивление переменному току?

7.2. По каким характеристикам определяется R_i и S ?

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Лабораторная работа № ____ «Исследование тиристоров»

1. Цель работы: изучение свойств тиристоров, особенностей их характеристик и параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- модуль со схемой включения тиристора;
- исследуемый тиристор, распаянный в установочный разъем.

3. Краткие теоретические сведения

Динистор (неуправляемый) — полупроводниковый прибор, имеющий три р-п перехода и два вывода — анод и катод. Первый и третий р-п переходы смещены прямо, а второй — обратно. При достижении определенного напряжения ($U_{\text{вкл}}$) такая четырехслойная структура становится токопроводящей, его сопротивление резко падает, а ток через него растет, таким образом, динистор работает в режиме ключа.

Тиристор (тринистор) — управляемый полупроводниковый прибор, имеющий три р-п перехода, три вывода — анод, катод и управляющий электрод. Управление может быть осуществлено как по «п», так и по «р» области. Изменяя ток управляющего электрода, можно управлять $U_{\text{вкл}}$ тиристора.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Познакомиться с конструкциями динистора и тиристора, изучить справочные данные этих приборов, ознакомиться со схемой измерений (рис. 1).

4.2. Подготовить стенд к работе согласно общим положениям.

4.3. Установить исследуемый тиристор, соблюдая маркировку, в гнездо схемы «исследование тиристора». Установить полярность источника напряжения 0...3 В на ПУ1; 0...250 В на ПУ2, вольтметра V1 и амперметра mA1, mA2 в соответствии с обозначениями на схеме для снятия прямой ветви вольт-амперной характеристики.

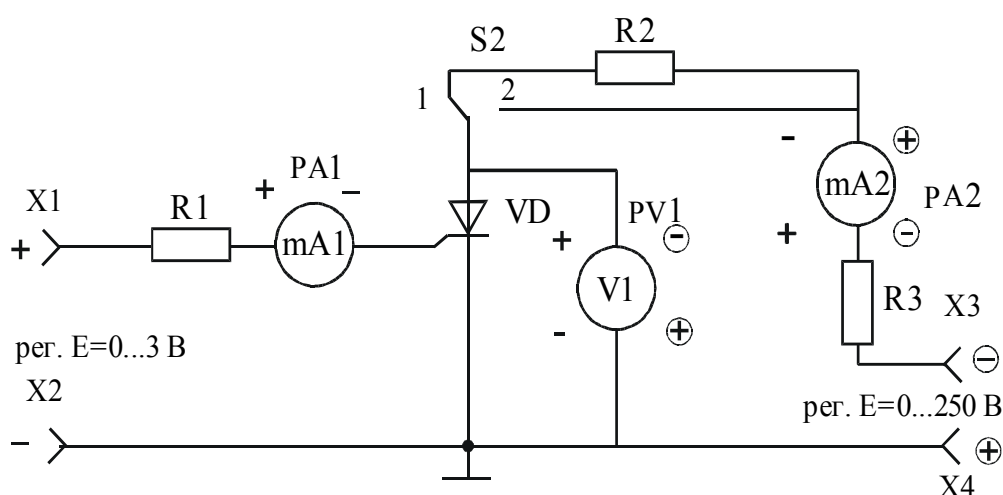


Рис. 1. Схема включения тиристора

Включить стенд в сеть.

Включить блоки БП1 и БП2 тумблерами «Вкл» на ПУ1 и ПУ2. О наличии напряжения сигнализирует индикаторная лампа.

Выбирать и устанавливать необходимые пределы измерения V1, mA1 и mA2, исходя из ожидаемых значений напряжения и токов для выбранного типа тиристора.

4.4. Снятие вольт-амперных характеристик тиристора.

4.4.1. Переключатель S2 на ПУ2 поставить в положение «1» (R2 закорочен).

Для снятия прямых ветвей ВАХ тиристора ток управляющего электрода $I_{упр}$ устанавливается согласно табл. 1 ручками «Грубо» и «Плавно» изменением напряжения 0...3 В на ПУ1.

После получения необходимого $I_{упр}$ ручками «Грубо» и «Плавно» и ступенями через 50 В последовательно кнопками на ПУ2 устанавливать напряжение согласно табл. 1 через 50 В по вольтметру V1, прямой ток фиксировать по амперметру mA2, заполнить табл. 1.

Таблица 1. Вольт-амперная характеристика тиристора

$$U_{пр} = f(I_{пр}) \text{ при } I_{упр} = const$$

$I_{упр} = 0$		$I_{упр} =$ (подбирается)		$I_{упр} =$ (подбирается)	
$U_{пр}, В$	$I_{пр}, mA$	$U_{пр}, В$	$I_{пр}, mA$	$U_{пр}, В$	$I_{пр}, mA$
0		0		0	
50		50		50	
100		100		100	
150		150		150	
200		200		200	
250		250		250	
		$U_{ост} =$		$U_{ост} =$	

$U_{ост}$ измеряется при открытом тиристоре.

Приблизившись к точке включения (о чем свидетельствует увеличение скорости возрастания тока), изменять напряжение на тиристоре через 1...2 В до его включения, при котором ток через тиристор резко возрастает, а напряжение на нем падает.

После включения тиристора, ручками «Грубо» и «Плавно» и ступенями через 50 В источника 0...250 В на ПУ2 увеличивать прямой ток через тиристор через 5 mA до 30 mA, фиксируя по вольтметру V1 напряжение на тиристоре.

4.4.2. По окончании измерений ручки «Грубо» и «Плавно» источников 0...250 В на ПУ2 и 0...3 В на ПУ1 поставить в крайнее левое положение, кнопки выходного напряжения источника 0...250 В на ПУ2 в положение «50».

4.5. Снятие пусковой характеристики тиристора

4.5.1. Установить по V1 напряжение $U_{вкл}$ ступенями через 50 В ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...250 В. Плавно увеличивать ток управляющего электрода ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...3 В на ПУ1 до момента включения тиристора. Включение тиристора фиксировать по V1 и записывать в табл. 2 значение $I_{упр}$.

Таблица 2. Пусковая характеристика тиристора

$I_{упр}, mA$				
$U_{вкл}, В$	50	100	150	200

[illegible]

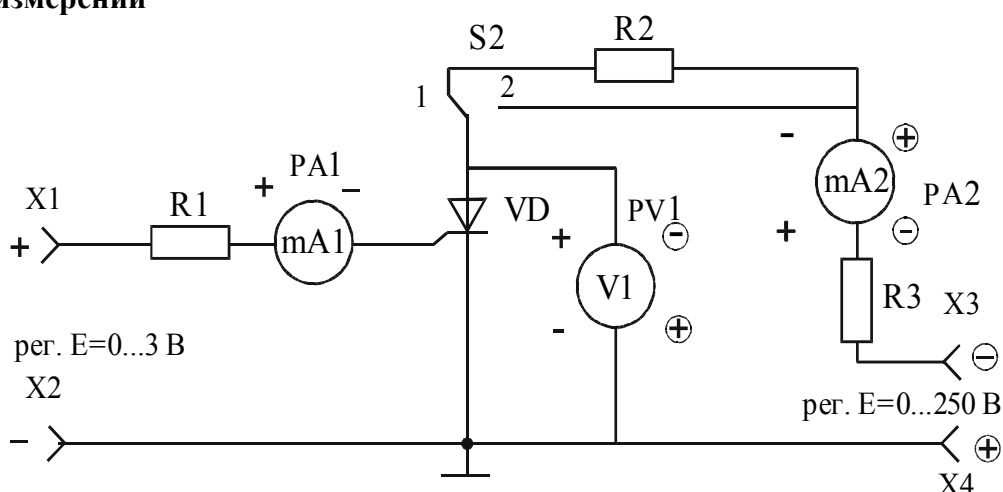
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование тиристоров»	Зачет

1. Цель работы: изучение свойства тиристоров, особенностей их характеристик и параметров.

2. Перечень используемого оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- модуль со схемой включения тиристора;
- исследуемый тиристор, распаянный в установочном разъеме.

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

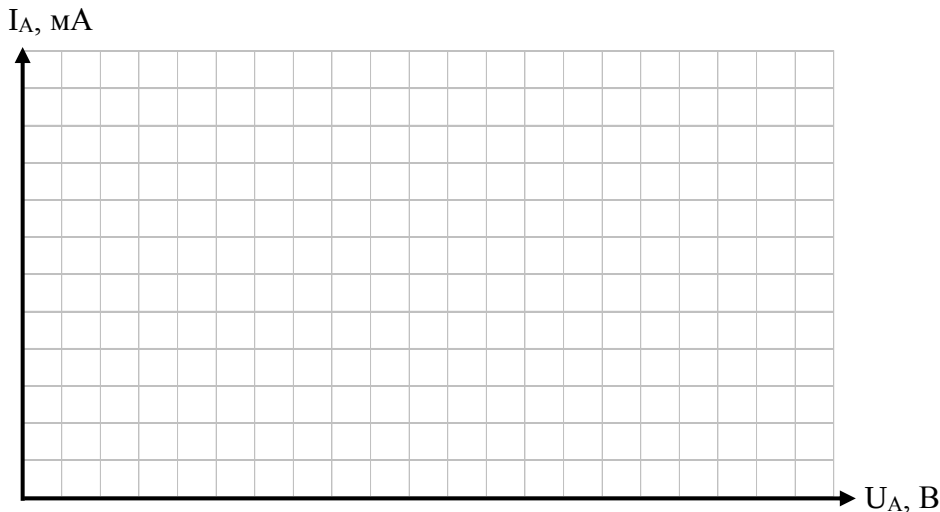
Таблица 1. Вольт-амперная характеристика тиристора
 $U_{пр} = f(I_{пр})$ при $I_{упр} = const$

$I_{упр} = 0$		$I_{упр} =$ (подбирается)		$I_{упр} =$ (подбирается)	
$U_{пр}, B$	$I_{пр}, mA$	$U_{пр}, B$	$I_{пр}, mA$	$U_{пр}, B$	$I_{пр}, mA$
0		0		0	
50		50		50	
100		100		100	
150		150		150	
200		200		200	
250		250		250	
		$U_{ост} =$		$U_{ост} =$	

Таблица 2. Пусковая характеристика тиристора

$I_{упр}, mA$				
$U_{вкл}, B$	50	100	150	200

5. Экспериментальные графики



Вольт-амперная характеристика тиристора

6. Результаты вычислений

$$R_{\text{ст пр ос}} = \frac{U_{\text{ост}}}{I_{\text{уд}}}; R_{\text{дин. зс}} = \frac{\Delta U}{\Delta I}; R_{\text{ст.зс}} = \frac{U_{\text{вкл}}}{2I_{\text{зс}}};$$



Пусковая характеристика тиристора

7. Выводы

- 7.1. Какие два состояния есть у тиристора?
- 7.2. Как различаются сопротивления в открытом и закрытом состоянии?
- 7.3. В каких схемах применяются тиристоры?
- 7.4. Как влияет величина управляющего тока на напряжение включения?
- 7.5. Как закрыть тиристор?

[illegible]

Лабораторное занятие № ____

«Измерение основных показателей качества усилителей»

1. Цель работы: Исследование принципа действия и особенностей работы резистивного усилительного каскада

2. Перечень используемого оборудования:

- ПК. Программа Multisim.

3. Краткие теоретические сведения

Усилитель – это устройство, предназначенное для усиления электрического сигнала по мощности. В электронных усилителях усиление электрического сигнала осуществляется активными элементами – биполярными и полевыми транзисторами, электронными лампами, микросхемами. Простейший усилитель – это один усилительный каскад. Усилительный каскад – это один или два усилительных элемента и несколько пассивных элементов (резисторов, конденсаторов, трансформаторов и т.д.). Пассивные элементы необходимы для подачи питания на усилительный элемент, осуществления связи с нагрузкой и т.д.

Важнейшими техническими показателями работы усилителя являются: коэффициенты усиления по напряжению K_u , по току K_i , по мощности K_p ; входное сопротивление $R_{вх}$, выходное сопротивление $R_{вых}$, выходная мощность, номинальное входное напряжение, диапазон усиливаемых частот, а также показатели, характеризующие нелинейные, частотные и фазовые искажения усиливаемого сигнала.

Коэффициентом усиления по напряжению называется величина, показывающая во сколько раз напряжение сигнала на выходе усилителя больше, чем на входе:

$$K = \frac{U_{БЫХ}}{U_{ВХ}}$$

Основными показателями, характеризующими качество работы усилителя, являются:

Динамический диапазон амплитуд $D = \frac{U_{ВХ. \max}}{U_{ВХ. \min}}$, амплитудная характеристика, показывающая зависимость амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного; диапазон пропускаемых частот Δf , амплитудно-частотная характеристика и фазо-частотная характеристики; входное $R_{ВХ} = \frac{U_{ВХ}}{I_{ВХ}}$ и выходное $R_{БЫХ} = \frac{U_{БЫХ}}{I_{БЫХ}}$ сопротивления.

4. Задание

Исследовать работу резистивного усилительного каскада на биполярном транзисторе. Определить основные показатели качества работы усилителя.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Открыть схему измерения (рис. 1). Для этого необходимо активизировать программу Multisim. Выбрать папку «электронная техника» и открыть файл «Резисторный каскад.ms 10».

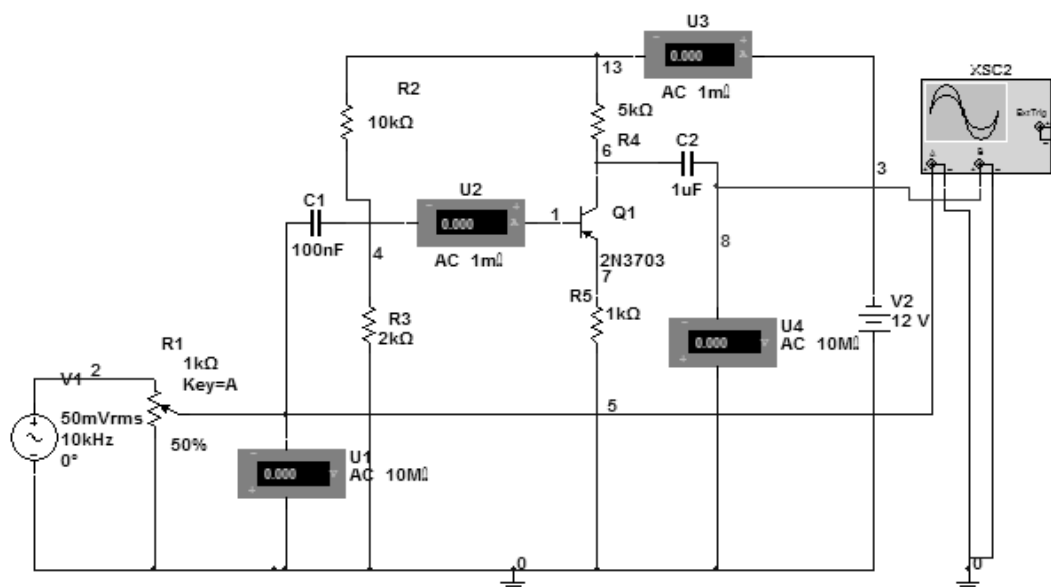


Рис. 1

5.2. Двойным щелчком левой кнопки «мыши» по генератору синусоидальных колебаний V1 открыть его настройки (**AC POWER**) и установить следующие параметры:

напряжение (Voltage(V))	– в соответствии с табл. 1
частоту (Frequency)	– 10 kHz;
фазу (Phase)	– 0.

Таблица 1. Варианты заданий

1в	2в	3в	4в	5в	6в	7в	8в	9в	10в
50mV	55mV	65mV	70mV	75mV	80mV	85mV	90mV	95mV	100mV

5.3. Установите % изменения подстроечного резистора R1 «100» с помощью клавиши A (английский регистр) на клавиатуре.

5.4. Включите схему, нажав кнопку «0-1» в верхнем правом углу верхней панели, и запишите показания входных и выходных вольтметров и амперметров в табл. 2.

5.5. Изменяя значения подстроечного резистора R1 (нажимая одновременно клавиши Shift, A) в соответствии с табл. 2 измерьте значения входных и выходных напряжений и токов усилителя и запишите в табл. 2. Рассчитайте коэффициенты усиления для каждого значения подстроечного резистора $K = \frac{U_{BIX}}{U_{BX}}$.

Внимание! При изменении % подстроечного резистора R1 каждый раз отключать схему кнопкой «0-1».

5.6. Установите значение входного напряжения усилителя 50 mV по прибору U1, используя подстроечный резистор R1.

5.7. Подключите к выходу усилителя осциллограф.

5.8. Включите схему, нажав кнопку «0-1». Двойным щелчком «мыши» по осциллографу откройте его дисплей. Остановите осциллограмму кнопкой «11» – пауза. В настройках осциллографа установите **Time base 50 us/div, Channel A 100 mV/Div. Channel B 200 mV/Div.**

5.9. Рассчитайте по осциллограмме амплитуды входного и выходного напряжений. Перечертите осциллограмму в отчет.

5.10. Убедитесь по осциллограмме, что разность фаз между входным и выходным напряжением – 180 град.

5.11. Для того чтобы посмотреть амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазо-частотную характеристику (ФЧХ) полученного сигнала, в командной строке нажмите кнопку **Simulate**, в открывшемся меню выберите опцию – **Analysis – AC Analysis**. В открывшемся окне установите следующие параметры:

- начальная частота (**Start frequency**) – 100 Hz;
- конечная частота (**Stop frequency**) – 50 MHz
- вертикальная шкала (vertical scale) – decibel или linear

Далее нажмите кнопку **Simulate**.

В появившемся окне внимательно рассмотрите графики и перенесите в отчет АЧХ и ФЧХ.

5.12. По АЧХ определите $K_{ср}$ на уровне $f_{ср}$.

5.13. Рассчитайте величину $K = K_{ср} \cdot 0,707$, на уровне которой определяются f_n и f_v .

5.14. Определите по АЧХ f_n и f_v . Рассчитайте диапазон частот усилителя $\Delta f = f_v - f_n$

Внимание! При заполнении таблицы обратите внимание на букву в черном поле измерительного прибора m – милли, μ – микро, n – нано, U – измерительные приборы на экране. Переводите размерности в величины, указанные в таблице.

Таблица 2

№	% R1	$U_{вх}$ (U1) (mV)	$U_{вых}$ (U4) (mV)	$I_{вх}$ (U2) (μA)	$I_{вых}$ (U3) (μA)	K_u
1	100					
2	90					
3	80					
4	70					
5	60					
7	50					
8	40					
9	30					
10	20					
11	10					
12	0					

6. Контрольные вопросы

6.1 Что такое усилитель?

- 7. Содержание отчета:** название работы, цель работы, приборы, используемые при измерениях, схема измерений, таблица измерений, расчеты, графики амплитудной и фазочастотной характеристик (АЧХ, ФЧХ), выводы.

1. 1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
3. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

[illegible]

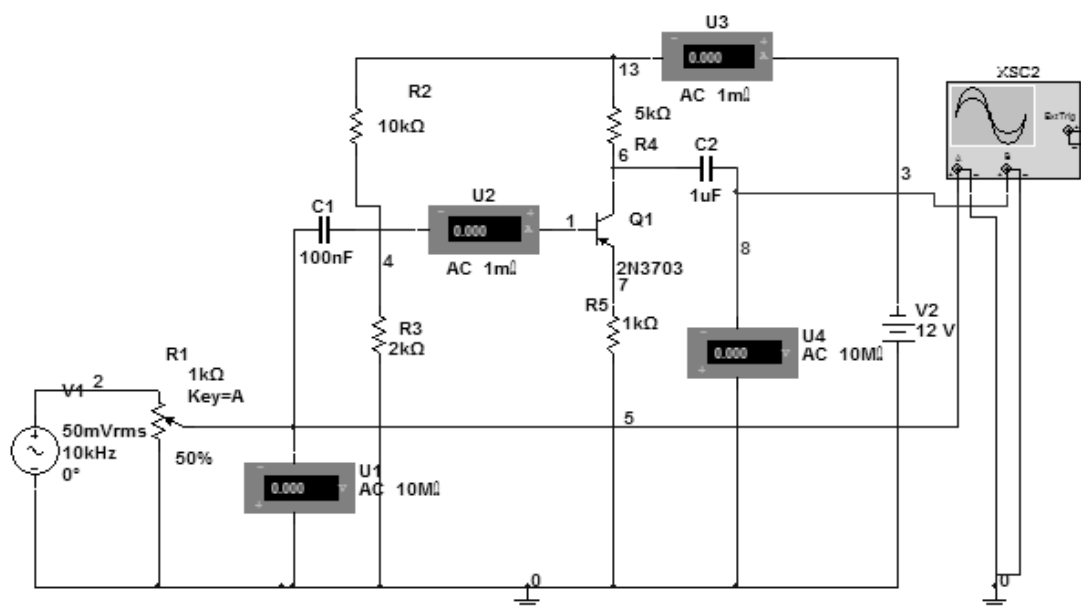
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Измерение основных показателей качества усилителей»	Зачет

1. Цель занятия: исследование принципа действия и особенностей работы резистивного усилителя на биполярном транзисторе.

2. Перечень используемого оборудования:

- ПК. Программа Multisim

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

Таблица 1

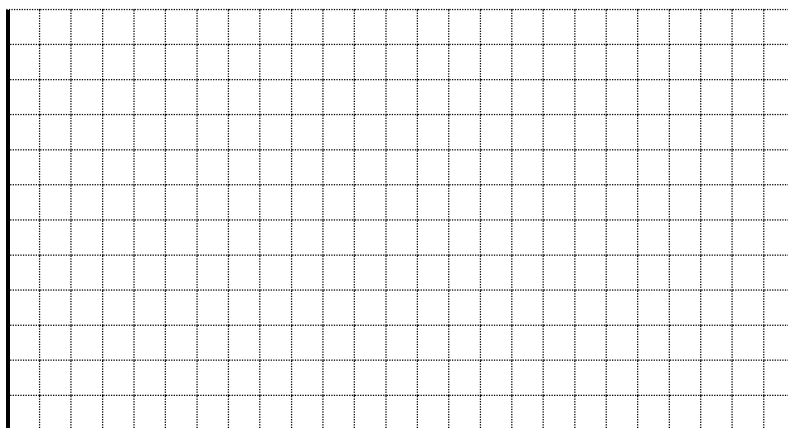
№	%R1	$U_{BX} (U1)$ (mV)	$U_{ВЫХ} (U4)$ (mV)	$I_{BX} (U2)$ (μA)	$I_{ВЫХ} (U3)$ (μA)	K_u
1	100					
2	90					
3	80					
4	70					
5	60					
7	50					
8	40					
9	30					

10	20					
11	10					
12	0					

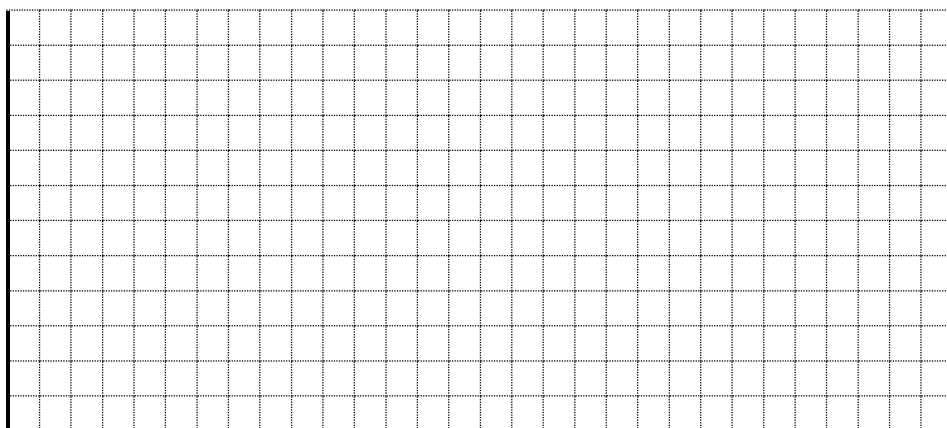
5. Экспериментальные характеристики

U_{BX}

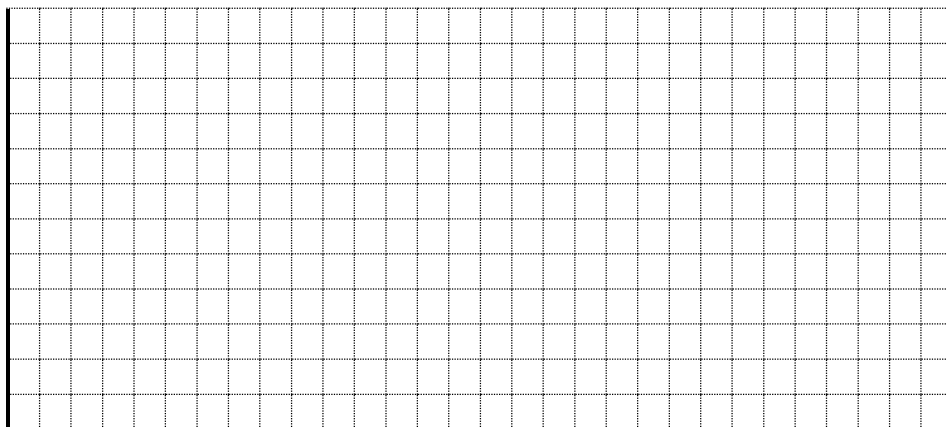
5.1 Амплитудная характеристика



5.2 Амплитудно-частотная характеристика



5.3. Фазо-частотная характеристика



6. Результаты вычислений

$$K = \frac{U_{BbIX}}{U_{BX}}$$

$$K_{cp}$$

$$\Delta f = f_H - f_B$$

7. Выводы

7.1. Перечислите основные показатели качества усилителей.

7.2. Объясните, как определяется полоса пропускания усилителя.

[illegible]

Лабораторное занятие № ____

«Изучение влияния обратной связи на показатели качества усилителей»

1. Цель работы: исследование работы усилителя в схемах с отрицательной обратной связью.

2. Перечень используемого оборудования

- ПК. Программа Multisim

3. Краткие теоретические сведения

Обратная связь – это процесс передачи части энергии усиленного сигнала с выхода усилителя обратно на его вход. Обратная связь может быть положительной и отрицательной. Отрицательной обратной связью (ООС) называется такая связь между выходом и входом, когда напряжение обратной связи противоположно по фазе входному напряжению. Обратная связь характеризуется коэффициентом передачи цепи обратной связи β :

$$\beta = \frac{U_{oc}}{U_{вых}}$$

Коэффициент β не может быть по модулю больше 1. При отрицательной обратной связи $-1 \leq \beta \leq 0$. В общем случае коэффициент усиления усилителя, охваченного обратной связью, определяется:

$$K_{oc} = \frac{K}{1 - \beta K},$$

где K – это коэффициент усиления самого усилителя.

В схемах усиления применяется отрицательная обратная связь.

Коэффициент усиления усилителя, охваченного отрицательной обратной связью, падает в $(1 + \beta K)$, но основные показатели качества работы усилителя улучшаются:

- входное сопротивление усилителя увеличивается в $(1 + \beta K)$ раз;
- коэффициент нелинейных искажений K_{Γ} уменьшится в $(1 + \beta K)$;
- значительно уменьшаются частотные искажения;
- расширяется диапазон частот Δf ;
- сглаживается амплитудно-частотная характеристика;
- увеличивается устойчивость усилителя к любым внешним воздействиям

4. Задание

Исследовать влияние отрицательной обратной связи на работу усилителя. В качестве усилителя используется операционный усилитель.

5. Порядок выполнения работы:

5.1. Откройте схему усилителя, включенного без обратной связи (рис. 1). Для этого необходимо активизировать программу Multisim. Выбрать папку «Электронная техника» и открыть файл «ОУ без ООС».

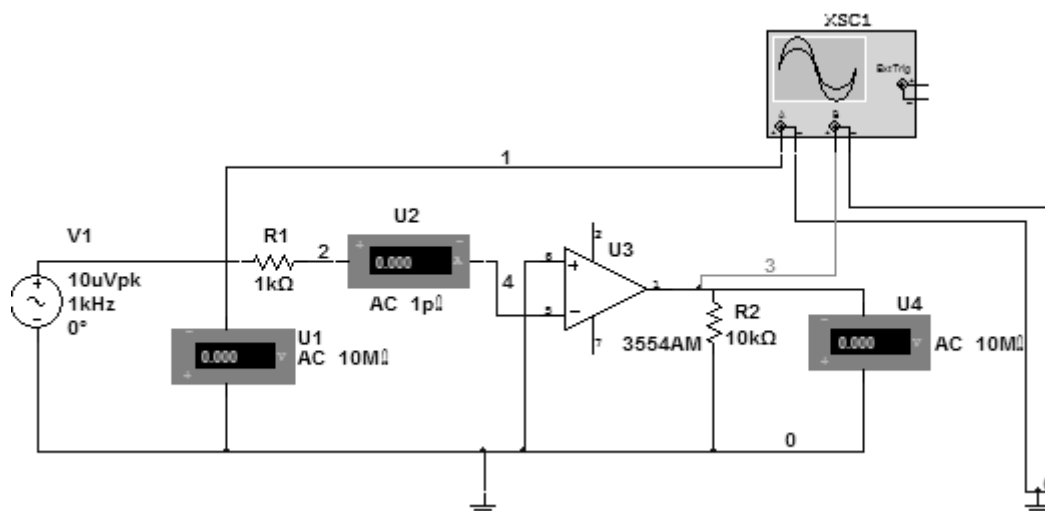


Рис. 1

5.2. Двойным щелчком левой кнопки «мыши» по генератору синусоидальных колебаний V1 открыть его настройки (**AC POWER**) и установить следующие параметры:

- напряжение (Voltage(V)) – 1 μ V;
- частоту (Frequency) – 1 kHz;
- фазу (Phase) – 0.

5.3. Включите схему, нажав кнопку «0-1» в верхнем правом углу верхней панели и запишите значения входного и выходных напряжения в табл. 1.

5.4. Рассчитайте коэффициент усиления $K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$

5.5. Двойным щелчком «мыши» по осциллографу откройте его дисплей, рассмотрите осциллограмму. В настройках осциллографа установите **Time base 1 ms/div, Channel A 1 μ V/Div. Channel B 50 mV/Div**. Перечертите осциллограмму в отчет.

5.6. Для изучения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и фазо-частотной характеристики (ФЧХ) полученного сигнала, в командной строке нажмите кнопку **Simulate**, в открывшемся меню выберите опцию – **Analysis – AC Analysis**. В открывшемся окне установите следующие параметры:

- начальная частота (**Start frequency**) – 1 kHz;
- конечная частота (**Stop frequency**) – 1 MHz

Далее нажмите кнопку **Simulate**. В появившемся окне внимательно рассмотрите графики и перечертите в отчет АЧХ и ФЧХ.

5.7. По АЧХ определите диапазон частот $\Delta f = f_в - f_н$. Для этого:

- 1) определите **K_{ср}** на уровне **f_{ср}**;
- 2) рассчитайте величину **K = K_{ср} · 0,707**, на уровне которой определяются **f_в**, **f_н = 0**;
- 3) определите по АЧХ **f_в**;
- 4) рассчитайте диапазон частот усилителя.

5.8. Включите схему и запишите значения входного тока в табл. 1.

5.9. Рассчитайте входное сопротивление в усилителях $R_{вх} = U_{вх} / I_{вх}$.

5.10. Откройте схему усилителя с отрицательной обратной связью (ОУ с ООС) (рис. 2).

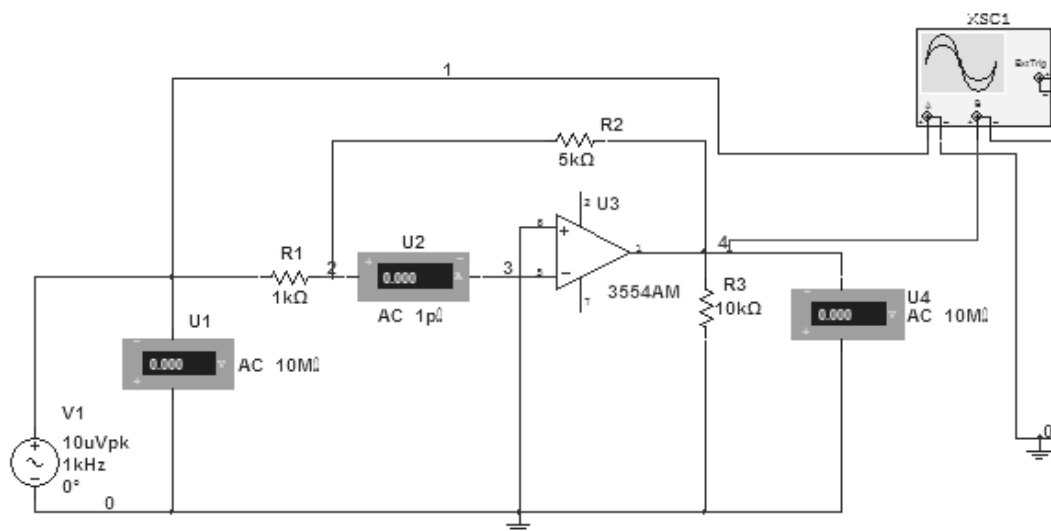


Рис. 2

5.11. Включите схему, нажав кнопку «0-1» в верхнем правом углу верхней панели и запишите значения входного и выходных напряжения в табл. 1.

5.12. Рассчитайте коэффициент усиления $K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$

5.13. Двойным щелчком «мыши» по осциллографу откройте его дисплей. рассмотрите осциллограмму. В настройках осциллографа установите **Time base 1 ms/div, Channel A 1 μ V/Div. Channel B 2 μ V/Div**. Перечертите осциллограмму в отчет.

5.14. Для изучения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и фазо-частотной характеристики (ФЧХ) полученного сигнала, в командной строке нажмите кнопку **Simulate**, в открывшемся меню выберите опцию – **Analysis – AC Analysis**. В открывшемся окне установите следующие параметры:

- начальная частота (Start frequency) – 1 kHz;
- конечная частота (Stop frequency) – 1 GHz -

Далее нажмите кнопку **Simulate**. В появившемся окне внимательно рассмотрите графики и перечертите в отчет АЧХ и ФЧХ.

5.15. По АЧХ определите диапазон частот $\Delta f = f_g - f_n$, выполнив п. 5.6.

5.16. Сравните АЧХ усилителя с ООС с АЧХ усилителя без ООС.

5.17. Сравните диапазон частот усилителя с ООС с диапазоном частот усилителя без ООС.

5.18. Сравните входное сопротивление усилителя с ООС с входным сопротивлением усилителя без ООС.

Таблица 1

№	СХЕМА	$U_{\text{ВХ}}$ (U1) μ V;	$U_{\text{ВЫХ}}$ (U4) μ V;	K	$I_{\text{ВХ}}$ (U2) μ A	Δf	$R_{\text{ВХ}}$
1	ОУ без ООС						
2	ОУ с ООС						

6.1. Что такое обратная связь?

6.2. Какая обратная связь называется отрицательной?

6.3. Какое влияние оказывает отрицательная обратная связь на качество работы усилителя?

7. Содержание отчета: название работы, цель работы, приборы, используемые при измерениях, схемы измерений, таблица измерений, расчеты, осциллограммы, графики амплитудной и фазо-частотной характеристик (АЧХ, ФЧХ), выводы.

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.

2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с

3. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Отвѣты на вопросы

This image shows a full page of blank white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for writing or drawing. There are no margins, text, or other markings present.

Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____	Зачет
	«Изучение влияния обратной связи на показатели качества усилителей»	

1. Цель занятия: исследование работы операционного усилителя в схемах с отрицательной обратной связью.

2. Перечень используемого оборудования:

- ПК. Программа Multisim

3. Схемы измерений

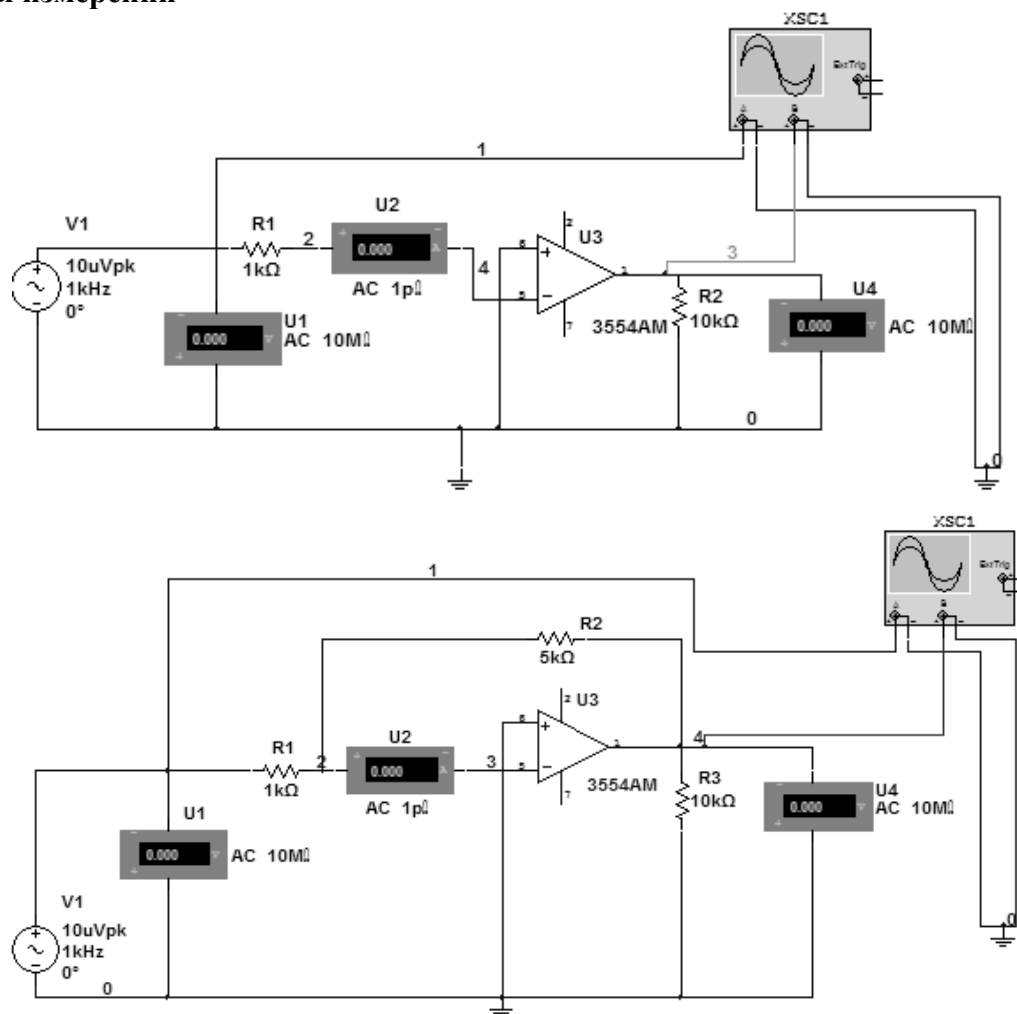
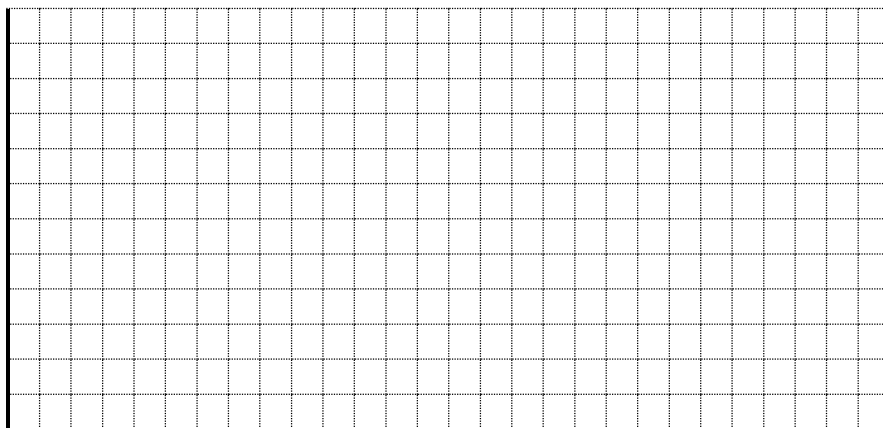


Таблица 1

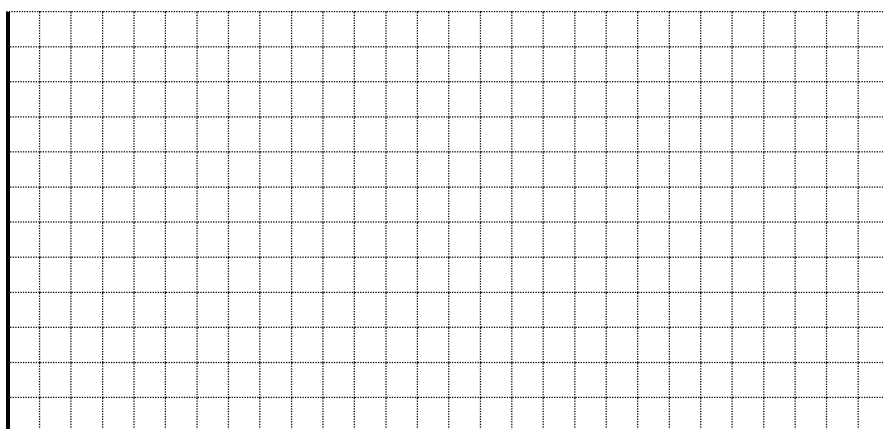
№	СХЕМА	$U_{ВХ}$ (U1) μV ;	$U_{ВЫХ}$ (U4) μV ;	K	$I_{ВХ}$ (U2) μA	Δf	$R_{ВХ}$
1	ОУ без ООС						
2	ОУ с ООС						

4. Экспериментальные характеристики

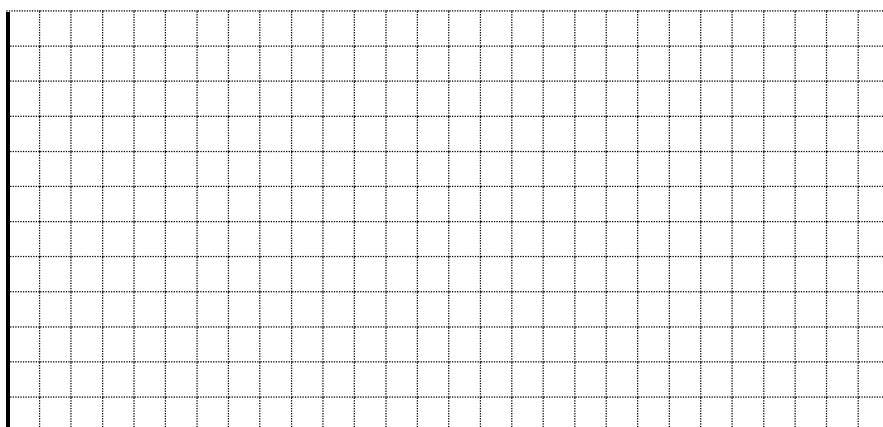
4.1 Амплитудно-частотные характеристики



4.2. Фазо-частотные характеристики



4.3. Осциллограммы



5. Результаты вычислений

$$K = U_{6blx} / U_{6x}$$

$$\Delta f = f_{\text{e}} - f_{\text{H}}$$

$$R_{BX} = U_{BX} / I_{BX}$$

6. Выводы

6.1. Сделать выводы о влиянии отрицательной обратной связи на параметры усилителя.

6.2. Почему усилители применяются с отрицательной обратной связью?

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Лабораторное занятие № ____

«Исследование работы RC-генератора»

1. **Цель работы:** исследование работы RC автогенератора на операционном усилителе
2. **Перечень используемого оборудования**
 - ПК. Программа Multisim

3. Краткие теоретические сведения

Автогенератор – это устройство, в котором самопроизвольно возникают, растут и устанавливаются колебания.

В электронном генераторе происходит преобразование энергии источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний требуемой формы, частоты и мощности.

Схема автогенератора синусоидальных колебаний должна содержать усилительный элемент и колебательную систему. Фактически любой усилитель можно превратить в автогенератор, если его охватить положительной обратной связью и обеспечить выполнение условий:

1. $\beta K \geq 1$ – условие самовозбуждения для амплитуд (баланс амплитуд).
2. $\varphi_{oc} + \varphi_k = 2\pi n$ – условие самовозбуждения для фаз (баланс фаз).

Для построения автогенератора синусоидальных колебаний используются два типа усилительных схем – резонансные усилители (генераторы типа LC) и усилители на резисторах (генераторы типа RC).

В генераторах типа RC в качестве цепи положительной обратной связи (ПОС) используются избирательные RC-фильтры. Генераторы типа RC используются на низких частотах (от 0,01 Гц до 100 кГц). Часто в радиоэлектронике используются RC-автогенераторы на операционном усилителе (рис. 1). Основа схемы – неинвертирующий усилитель. Его коэффициент усиления равен:

$$K = 1 + \frac{R_{oc}}{R_1}.$$

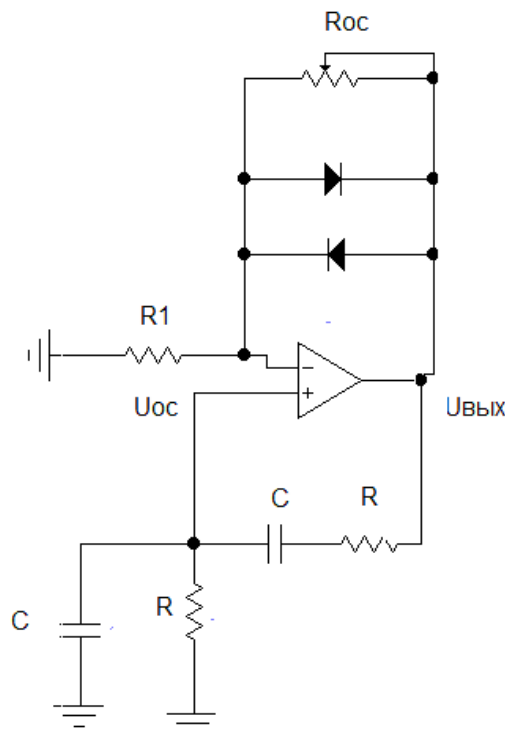


Рис 1. Автогенератор RC-типа на операционном усилителе

Цепь положительной обратной связи составлена из резисторов и конденсаторов. Используя законы Ома и Кирхгофа, можно определить коэффициент положительной обратной связи β :

$$\beta = U_{OC} / U_{вблх} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}.$$

Условие баланса фаз будет выполняться на частоте $\omega_0 = \frac{1}{RC}$, при этом $\beta = \frac{1}{3}$, следовательно, для выполнения условия баланса амплитуд необходимо, чтобы $\beta K \geq 1$, следовательно, $K \geq 3$.

4. Задание.

Исследовать работу RC- генератора на операционном усилителе.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Откройте схему RC-автогенератора (рис. 2). Для этого необходимо активизировать программу Multisim, выбрать папку «Электронная техника» и открыть файл «Генератор на ОУ.ms 10».

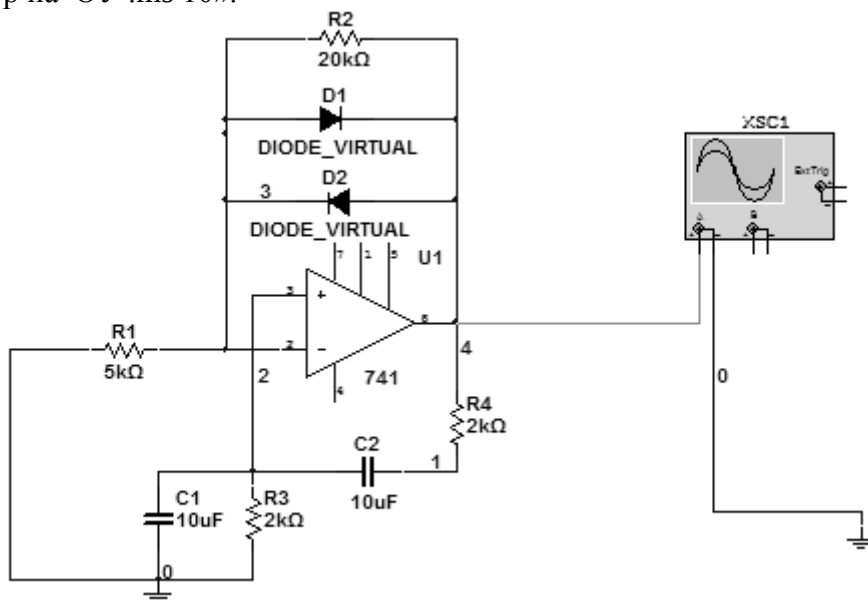


Рис. 2

5.2. По данным схемы рассчитайте значение $\omega_0 = \frac{1}{RC}$ и запишите в таблицу

5.3. Двойным щелчком «мыши» по осциллографу откройте его дисплей. В настройках осциллографа установите **Time base 200 ms/div, Channel A 1V/Div. Channel B 1V/Div.**

5.4. Включите схему, нажав кнопку «0-1» в верхнем правом углу верхней панели. Нажмите кнопку Pause. Перечертите осциллограмму в отчет.

5.5. Определите по осциллограмме амплитуду U_M и частоту $f_{0расч}$ колебаний и запишите в таблицу. Сравните полученную частоту с рассчитанной.

5.6. Определите по осциллограмме длительность переходного процесса установления колебаний τ . За нулевой момент времени берется момент начала анализа. Колебание считается установившимся, если его амплитуда отличается от стационарной не более чем на 10 %.

5.7. Закройте дисплей осциллографа. Отключите схему. Увеличьте сопротивления в цепи ПОС в два раза. Для этого двойным щелчком мыши по резистору R4 откройте его настройки и увеличьте его сопротивление в два раза.

5.8. Рассчитайте значение W_0 для полученной схемы и запишите в таблицу.

5.9. Откройте дисплей осциллографа. Включите схему. Определите по осциллограмме амплитуду U_M и частоту $f_{0расч}$ колебаний и запишите в таблицу. Сравните полученную частоту с рассчитанной. Определите по осциллограмме длительность переходного процесса установления колебаний τ и запишите в таблицу.

5.10. Закройте дисплей осциллографа. Отключите схему. Уменьшите емкости в цепи ПОС в три раза. Для этого двойным щелчком мыши по конденсатору C2 откройте его настройки и увеличьте его емкость в три раза.

5.11. Рассчитайте значение W_0 для полученной схемы и запишите в таблицу.

5.12. Откройте дисплей осциллографа. Включите схему. Определите по осциллограмме амплитуду U_M и частоту $f_{0расч}$ колебаний и запишите в таблицу. Сравните полученную частоту с рассчитанной. Определите по осциллограмме длительность переходного процесса установления колебаний τ и запишите в таблицу.

5.13. Проведите исследование условий самовозбуждения автогенератора.

5.14. В папке «электронная техника» и открыть файл «Генератор 1 на ОУ .ms 10» (рис. 3).

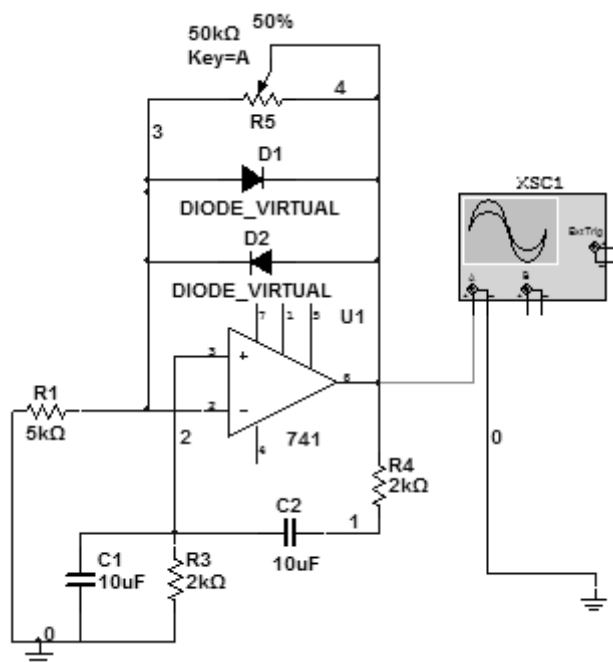


Рис. 3

5.15. Откройте дисплей осциллографа. Включите схему.

5.16. Увеличивая и уменьшая сопротивление переменного резистора R_{oc} в цепи отрицательной обратной связи, наблюдайте процесс возникновения и срыва автоколебаний (для увеличения сопротивления нужно двойным щелчком мыши активизировать резистор и в английском регистре на клавиатуре нажимать одновременно кнопки Shift и A; для уменьшения – кнопку A).

5.17. Определите сопротивление резистора, при котором происходит самовозбуждение. Запишите его значение в таблицу.

5.18. Рассчитайте по формуле $K=1+\frac{R_{oc}}{R_1}$ коэффициент усиления неинвертирующего усилителя. Запишите его значение в таблицу (сопротивление диодов D1 и D2 при самовозбуждении можно не учитывать)

5.19. По полученным измерениям сделайте вывод о выполнении условий баланса фаз и баланса амплитуд.

Таблица

№	R Ом	C мкФ	W_0	$f_0 = \frac{W_0}{2\pi}$ Гц	$f_{0\text{расч}}$ Гц	U_M В	τ с	R_1 Ом	R_{oc} Ом	$K = 1 + \frac{R_{oc}}{R_1}$

6. Контрольные вопросы:

- 6.1. В чем сущность физических процессов, происходящих в схемах автогенераторов?
- 6.2. Чем определяется частота генерируемых колебаний в автогенераторе RC-типа?
- 6.3. Объясните физический смысл условия баланса фаз.
- 6.4. Объясните физический смысл условия баланса амплитуд.
- 6.5. Объясните работу схемы автогенератора, построенного на базе операционного усилителя.

7. Содержание отчета: название работы, цель работы, приборы, используемые при измерениях, схема измерений, таблица измерений, расчеты, осциллограммы, выводы.

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
3. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Ответы на вопросы

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

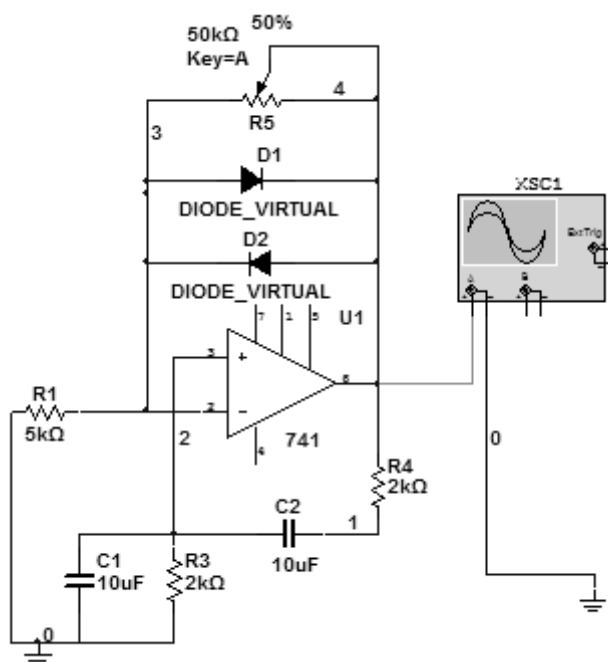
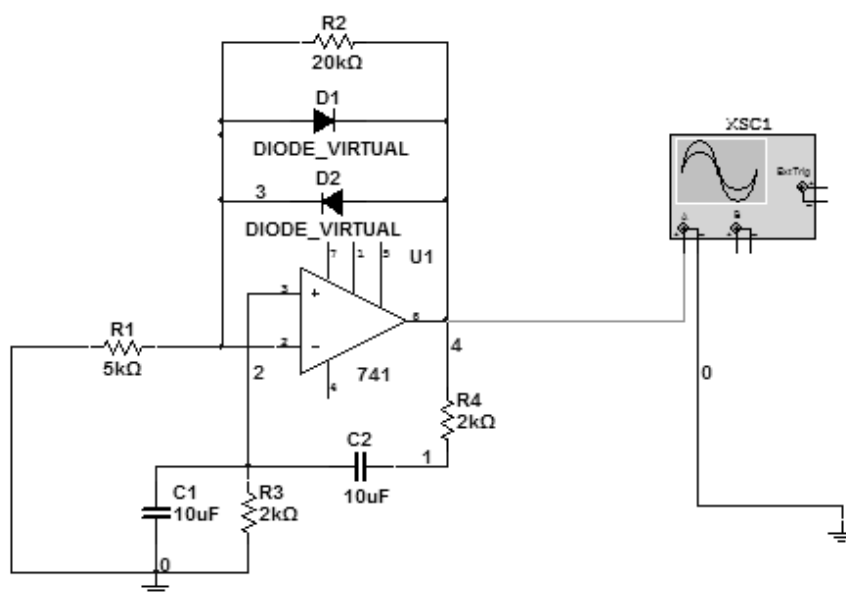
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____	Зачет
	«Исследование работы RC автогенератора на операционном усилителе»	

1. Цель занятия: исследование работы RC автогенератора на операционном усилителе.

2. Перечень используемого оборудования:

- ПК. Программа Multisim

3. Схемы измерений

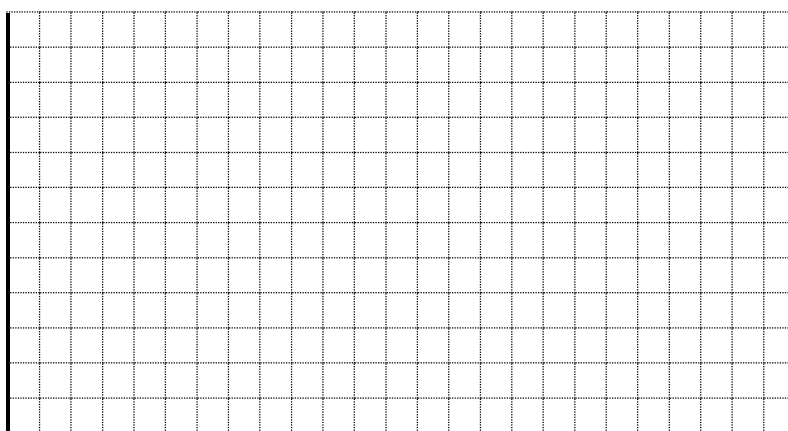


4. Результаты измерений

Таблица

[illegible]

5. Осциллограммы



6. Результаты вычислений

$$w_0 = \frac{1}{RC}$$

$$K = 1 + \frac{R_{oc}}{R_1}$$

7. Выводы

7.1. Сравнить рассчитанную частоту колебаний с измеренной.

7.2. Объяснить различия между полученными величинами

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There is no text or other markings on the paper.

[illegible]

Лабораторное занятие № ____

«Исследование работы логических элементов»

1. Цель работы: исследование работы цифровых логических элементов.

2. Перечень используемого оборудования:

- базовый лабораторный стенд NI ELVIS II;
- лабораторный модуль **dLab1** для исследования работы логических элементов.

3. Краткие теоретические сведения

Цифровым логическим элементом называется физическое устройство, реализующее одну из операций алгебры логики или простую логическую функцию. Схема, составленная из конечного числа логических элементов по определенным правилам, называется логической схемой.

В соответствии с перечнем логических операций (конъюнкция, дизъюнкция и отрицание) различают три основных логических элемента (ЛЭ): **И**, **ИЛИ**, **НЕ** (рис. 1). Элементы **И**, **ИЛИ** могут иметь несколько равноправных входов (от 2 до 12) и один выход, сигнал на котором определяется комбинацией входных сигналов. Элемент **НЕ** имеет всегда только один вход.

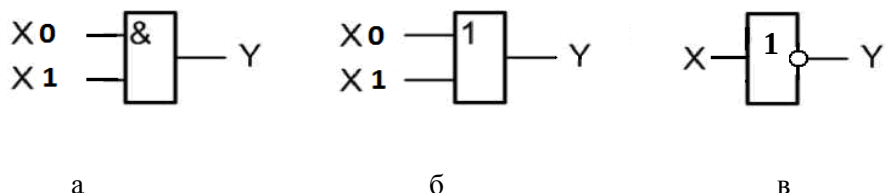


Рис. 1. Условное графическое обозначение элементов И (а), ИЛИ (б), НЕ (в)

Описание работы ЛЭ и логических схем может быть представлено различными способами. Наиболее часто используются следующие:

1. Алгебраическое выражение, например для функции **И**: $Y(X0, X1) = X0 \wedge X1$.
2. Таблица истинности, например, табл. 1. для функции **И**.

Таблица 1

$X0$	$X1$	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

3. Временная диаграмма состояний входных и выходных сигналов, например, для функции **И** (рис. 2).

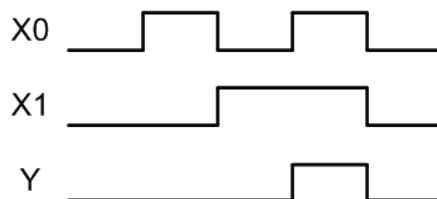


Рис. 2. Временная диаграмма состояний логического элемента **И** ($Y = X1 \wedge X0$)

Системы двух элементов **И** и **НЕ**, а также **ИЛИ** и **НЕ** (рис. 3) наравне с системой из трех элементов (**И**, **ИЛИ**, **НЕ**) являются функционально полными. На практике широкое применение нашли ЛЭ, совмещающие функции элементов указанных выше функционально полных систем. Это элементы **И-НЕ** и **ИЛИ-НЕ**, которые носят названия соответственно штрих Шеффера и стрелка Пирса. По определению каждый из этих элементов так же образует функционально полную систему.

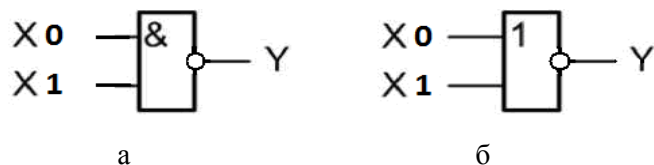


Рис. 3. Условное графическое обозначение элементов **И-НЕ** (а), **ИЛИ-НЕ** (б)

При разработке логических схем может оказаться, что ЛЭ имеет больше входов, чем число переменных, входящих в реализуемую с их помощью логическую функцию. При этом необходимо решить вопрос о том, как следует подключать свободные входы. Для рассмотрения этого случая вводится понятие **активного** и **пассивного** логических уровней.

Активным логическим уровнем называется такое значение входной переменной, которое однозначно определяет выходной сигнал ЛЭ. Например, для логического элемента **И** активным логическим уровнем является сигнал лог.0, так как его наличие хотя бы на одном из n-входов этого элемента однозначно определяет получение на выходе логического сигнала «0».

Пассивным логическим уровнем для элемента **И** будет, соответственно, сигнал «1». Отсюда следует, что для уменьшения фактического числа входов ЛЭ следует на неиспользуемые входы подавать сигналы пассивных логических констант: в рассмотренном случае для элемента **И** таким сигналом является «1».

Другой прием уменьшения фактического числа входов логического элемента основан на теоремах алгебры логики ($X \wedge X = X$, $X \vee X = X$): на несколько входов ЛЭ можно подавать одну и ту же логическую переменную, то есть объединять свободные входы с уже задействованными.

В табл. 2 представлены основные логические элементы, их обозначение, схемы и выполняемые функции.

Таблица 2

Элемент	Обозначение	Схема	Функция
НЕ	ЛН	$x \rightarrow \boxed{1} \rightarrow Y$	$Y = \overline{X}$
И	ЛИ	$\begin{matrix} X0 \\ X1 \end{matrix} \rightarrow \boxed{\&} \rightarrow Y$	$Y = X1 \wedge X0$
И-НЕ	ЛА	$\begin{matrix} X0 \\ X1 \end{matrix} \rightarrow \boxed{\&} \rightarrow Y$	$Y = \overline{X1 \wedge X0}$
ИЛИ	ЛЛ	$\begin{matrix} X0 \\ X1 \end{matrix} \rightarrow \boxed{1} \rightarrow Y$	$Y = X1 \vee X0$
ИЛИ-НЕ	ЛЕ	$\begin{matrix} X0 \\ X1 \end{matrix} \rightarrow \boxed{1} \rightarrow Y$	$Y = \overline{X1 \vee X0}$
Исключающее ИЛИ	ЛП	$\begin{matrix} X0 \\ X1 \end{matrix} \rightarrow \boxed{=1} \rightarrow Y$	$Y = X1 \oplus X2$

Примечание: для обозначения логической операции «Исключающее ИЛИ» в логических выражениях используется символ $\oplus$

4. Порядок выполнения работы

Установите лабораторный модуль **dLab1** (рис). 4на макетную плату лабораторной станции NI ELVIS.

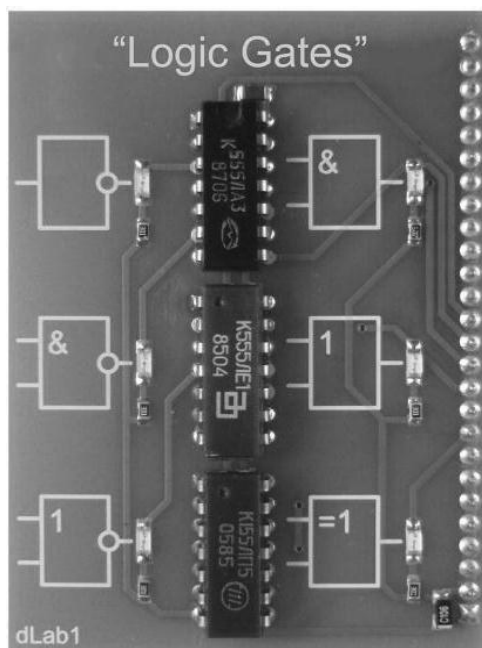


Рис. 4. Внешний вид модуля **dLab1** для исследования работы логических элементов

Загрузите файл **dLab-1.vi**. На экране появится изображение ВП, необходимого для выполнения работы (рис. 5). Запустите программу, щелкнув левой кнопкой мыши на экранной кнопке RUN .

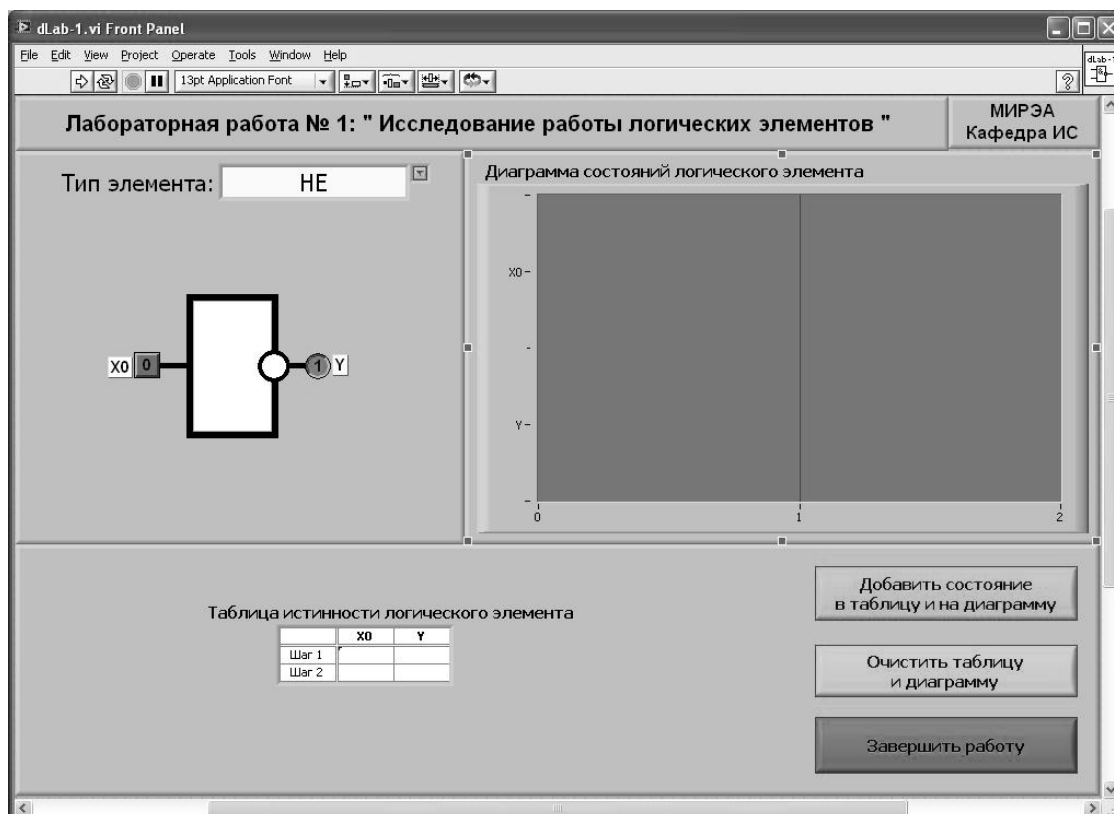


Рис. 5. Лицевая панель ВП

4.1. Логический элемент НЕ

4.1.1. Нажмите на кнопку **«Очистить таблицу и диаграмму»**.

4.1.2. Выберите логический элемент «НЕ». Для этого щелкните мышью на кнопке раскрытия списка элемента управления **«Тип элемента»**. В раскрывшемся списке выберите строку с надписью «НЕ». В левой части рабочего окна появится условное графическое изображение логического элемента НЕ.

4.1.3. Установите на входе «X0» исследуемого логического элемента логический сигнал «0». Логический уровень изменяется при однократном нажатии с помощью манипулятора мышью на кнопку квадратной формы, расположенную около входа логического элемента. При этом на кнопке отображается состояние входа («0» - синий цвет или «1» - оранжевый цвет). На индикаторе круглой формы, расположенном около выхода логического элемента, будет отображено состояние выходного сигнала в соответствии с логической функцией исследуемого элемента.

4.1.4. Занесите логические состояния входа и выхода логического элемента «НЕ» в таблицу истинности и на диаграмму состояний. Для этого нажмите на кнопку **«Добавить состояние в таблицу и на диаграмму»**.

4.1.5. Установите на входе «X0» исследуемого логического элемента логический сигнал «1», и с помощью кнопки **«Добавить состояние в таблицу и на диаграмму»** занесите логические состояния входа и выхода логического элемента «НЕ» в таблицу истинности и на диаграмму состояний.

4.2. Логические элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, Искл. ИЛИ

4.2.1. Нажмите на кнопку **«Очистить таблицу и диаграмму»**.

4.2.2. Выберите логический элемент И. Для этого щелкните мышью на кнопке раскрытия списка элемента управления **«Тип элемента»**. В раскрывшемся списке выберите строку с надписью «И». В левой части рабочего окна появится условное графическое изображение логического элемента И.

4.2.3. Установите на входах «X0» и «X1» логического элемента значения сигналов, приведенные в первой строке табл. 3.

Таблица 3

<i>Вход X1</i>	<i>Вход X0</i>
0	0
0	1
1	0
1	1

4.2.4. Занесите логические состояния входов и выходов логического элемента в таблицу истинности и на диаграмму состояний. Для этого на лицевой панели ВП нажмите на кнопку **«Добавить состояние в таблицу и на диаграмму»**.

4.2.5. Повторите пп.4.2.3 – 4.2.4 для остальных строк табл. 3.

4.2.6. Скопируйте полученные таблицу истинности и диаграмму состояний в отчет.

4.2.7. По таблице истинности и диаграмме состояний исследуемого логического элемента определите, какой логический сигнал является для него активным.

4.2.8. Повторите пп. 4.2.1 – 4.2.8 для логических элементов «И-НЕ», «ИЛИ», «ИЛИ-НЕ», «Искл.ИЛИ».

4.2.9. Выключите ВП, для чего нажмите на панели ВП кнопку **«Завершить работу»**.

5. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерения, таблицы, графики, расчеты, выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое логическая переменная и логический сигнал? Какие значения они могут принимать?
2. Что такое логическая функция?
3. Назовите основные операции булевой алгебры и словесные формулы для функций НЕ, И, ИЛИ, исключающее ИЛИ.
4. Что такое таблица истинности? Приведите пример.
5. Приведите условное обозначение операций И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, Искл. ИЛИ, ИЛИ-НЕ.
6. Привести простейшие электрические схемы реализации функций И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ.

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
3. *Колпакова Т.И., Калиенко И.В .Логические элементы,РКРИПТ.2022 г.*
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

Ответы на вопросы

[illegible]

Группа	Лаборатория «Электронной техники»	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование работы логических элементов»	Зачет

1. Цель работы: исследование работы цифровых логических элементов.

2. Перечень используемого оборудования:

- платформа NI ELVIS II;
- лабораторный модуль dLab1 для исследования работы логических элементов
- ПК.

3. Модуль dLab1 для исследования работы логических элементов.

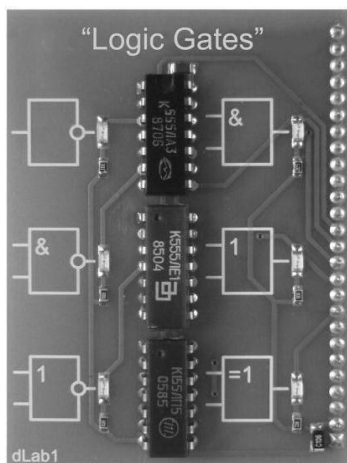


Рис.1

Установить лабораторный модуль **dLab1** на макетную плату лабораторной станции NI ELVIS. Загрузить файл **dLab-1.vi**. На экране появится изображение ВП, необходимого для выполнения работы. Запустите программу, щелкнув левой кнопкой мыши на экранной кнопке RUN .

4. Результаты измерений.

4.1. Заполнить таблицы для исследуемой логической функции НЕ.

Временная диаграмма

X0	Y

X1		
Y		

4.2. Заполнить таблицы для исследуемой логической функции И.

Временная диаграмма

X0	X1	Y

X0				
X1				
Y				

4.3. Заполнить таблицы для исследуемой логической функции И-НЕ.

Временная диаграмма

X0	X1	Y

4.4. Заполнить таблицы для функции ИЛИ.

Временная диаграмма

X0	X1	Y

X0				
X1				
Y				
X0				
X1				
Y				

исследуемой логической

4.5. Заполнить таблицы для исследуемой логической функции ИЛИ-НЕ.

Временная диаграмма

X0	X1	Y

X0				
X1				
Y				

4.6. Заполнить таблицы для исследуемой логической функции Искл. ИЛИ.

Временная диаграмма

X1	X2	Y

X0				
X1				
Y				

5. Выводы.

5.1 Сделать выводы о соответствии таблицы истинности исследуемых элементов.

5.2 Объясните, как включать неиспользуемые входы.

5.3 Соответствуют ли потенциальные коды исследуемым элементам?

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Лабораторная работа № ____

«Измерение основных характеристик и параметров элемента ТТЛ и ТТЛШ»

1. Цель работы: измерить таблицу истинности базового элемента ТТЛ и ТТЛШ, входную характеристику, передаточную функцию, статическую помехоустойчивость, нагрузочную способность и изучить работу ТТЛ на нестандартную нагрузку

2. Краткие теоретические сведения

Таблица истинности зависит от выполняемой функции. В приложении А приведены предлагаемые для исследования микросхемы.

Важнейшими характеристиками ЛЭ является входная характеристика — зависимость $I_{ВХ} = f(U_{ВХ})$ (рис. 1) и передаточная характеристика — зависимость $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ (рис. 2).

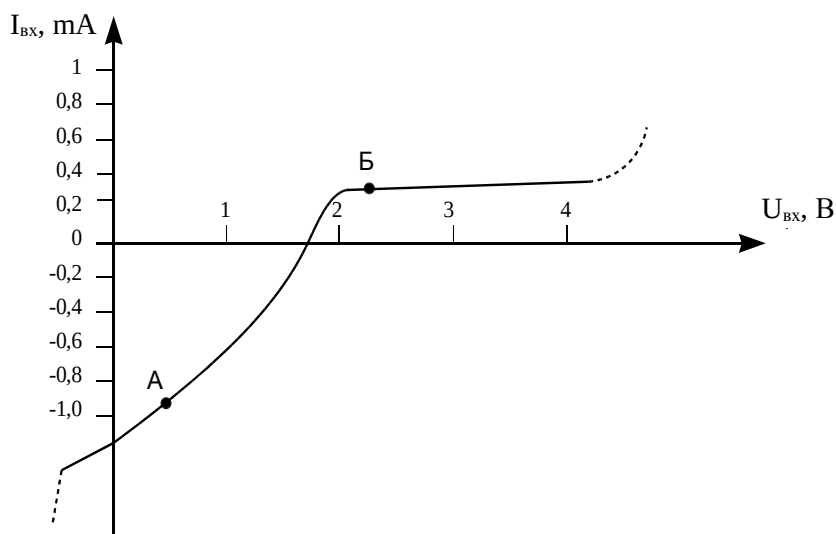


Рис. 1. Входная характеристика ЛЭ типа ТТЛ

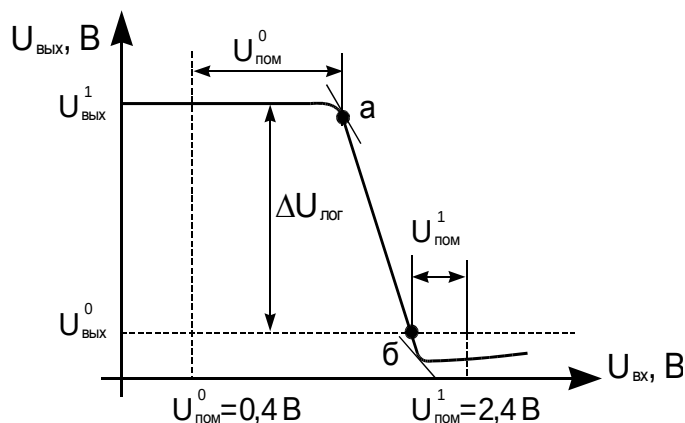


Рис. 2. Передаточная характеристика

Входная характеристика служит для определения нагрузочной способности элемента и связана с режимом работы линии связи. Точки А и Б соответствуют техническим условиям серии ТТЛ на передаточной характеристике, $\Delta U_{лог}$ является логическим перепадом схемы. В точках а и б — пороговые входные напряжения. Помехоустойчивость ЛЭ по высокому и

низкому уровням сигнала определяются как разность порогового напряжения и номинального логического уровня (см. рис. 2).

Следовательно, для повышения статической помехоустойчивости необходимо увеличить логический перепад $\Delta U_{\text{лог}}$, но это связано с ростом напряжения питания схемы и увеличением потребляемой мощности. Нагрузочная способность ЛЭ определяется коэффициентом разветвления:

$$K_{\text{разв}} = \frac{I_{\text{вых}}^0}{I_{\text{вх}}^0} = \frac{I_{\text{вых}}^1}{I_{\text{вх}}^1}$$

и соответствует числу однотипных ЛЭ, которые можно подключить к выходу. ТТЛ имеют большие выходные токи, поэтому хорошо работают на емкостную нагрузку, длинные соединительные проводники.

3. Перечень используемого оборудования

- стенд СЛИ-1 и ячейка стенда исследования серии ТТЛ;
- микросхема серии ТТЛ.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Подготовка стенда СЛИ-1 к работе

Поставить тумблер S1 на левой панели в положение 6,3 В (для подачи $U_{\text{П}}=5 \text{ В}$ на ИМС). Ручки источников питания 0...3В, 0...15В, «Грубо» и «Плавно» в крайнее левое положение. Включить тумблеры питания СЕТЬ правого и левого блока питания стенда СЛИ-1 и убедиться в свечении индикаторов.

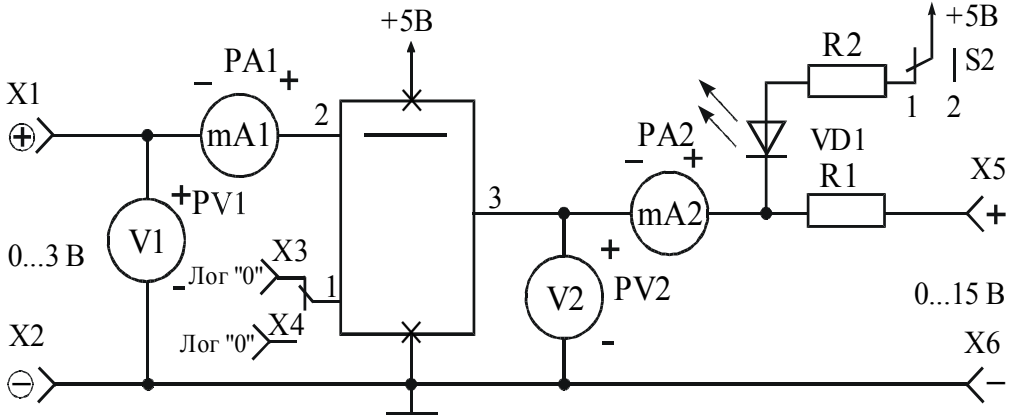


Рис. 3. Схема исследования ТТЛ

4.2. Измерение таблицы истинности

На вход ЛЭ переключателя ЛОГ1-ЛОГ0 подается требуемый уровень:

$$U_{\text{лог}}^0 \leq 0,4\text{В}; U_{\text{лог}}^1 \geq 2,4\text{В}.$$

На вход ЛЭ подается от источника питания 0...3 В по вольтметру V1. Напряжение на выходе измерять вольтметром V2. Светодиод VD1 включается в положение 2. Свечение светодиода соответствует ЛОГ «0» на выходе.

Заполнить табл. 1 и сделать выводы о выполняемой функции ЛЭ.

Таблица 1. Таблица истинности

Вход 1	Вход 2	Выход 3	
		$U_{\text{вых}}, \text{В}$	Лог. уровень
0	0		
0	1		

1	0		
1	1		

4.3. Измерение входной и передаточной характеристик

Ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...3 В устанавливать значения входного напряжения по вольтметру V1, входной ток измерять по mA1, выходное напряжения по V2. При изменении направления входного тока переключать тумблер mA в другое положение и заполнить табл. 2.

Таблица 2. Входная и передаточная характеристика ТТЛ

U _{ВХ} , В	0	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3	4
I _{ВХ} , mA											
U _{ВЫХ} , В											

Построить графики, определить статическую помехоустойчивость.

4.4. Измерение нагрузочной способности

Установить ЛОГ «0» на выходе, подавая на вход логические уровни соответствующей строки таблицы истинности. Ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...15 В увеличить напряжение на выходе по V2 до номинального значения 0,4 В. Измерить по миллиамперметру mA2 ток на выходе и рассчитать нагрузочную способность ЛЭ.

Значение $I_{\text{ВЫХ}}^0$ подставляется из таблицы для $U_{\text{ВХ}} = 0,4$ В.

Сделать выводы о соответствии $K_{\text{разв}}$ исследуемого ЛЭ значениям нагрузочной способности серии.

5. Содержание отчета: название работы, цель работы, схема измерения таблицы, передаточная функция, входная характеристика, $U_{\text{пом}}^0$, статическая помехоустойчивость, выводы, $K_{\text{разв}}$.

6. Контрольные вопросы

6.1. Расшифруйте условные обозначения КМ553ЛА1, КР1533ЛА7, 1533ЛИЗ, 1555ЛЛ2, 155ЛН1.

6.2. Что такое входная характеристика ЛЭ? Объясните с помощью базового элемента ТТЛ, почему входной ток меняет направление при ЛОГ «0» и ЛОГ «1» на выходе?

6.3. Что такое передаточная функция и как ее измерить?

6.4. Что такое логический перепад и статическая помехоустойчивость?

6.5. Как определить потребляемую мощность логического элемента? Как разделяются ЛЭ по величине $P_{\text{пот}}$?

6.6. Что такое нагрузочная способность логического элемента и как ее определить?

Список литературы

1. Москатов Е.А. Электронная техника: учебное пособие для СПО / Е.А. Москатов.- М.: КноРус, 2019.- 200с.
2. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
3. Колпакова Т.И., Калиенко И.В. Логические элементы. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Приложение А

Таблица А1. Функциональный состав логических ИМС — ТТЛ и ТТЛШ, используемых в работе

Подгруппа, вид, номер отечественной ИМС	Номер зарубежного аналога	Выполняемая функция (в каждой из этих ИМС по 4 одинаковых элемента)	№ рисунка
ЛА3	00	2И-НЕ	1
ЛА9	03	2И-НЕ-ОК	2
ЛА11	26	2И-НЕ-ОК	2
ЛА13	38	2И-НЕ-ОК-Мощн.	2
ЛА23	1003А	2И-НЕ-ОК-Мощн.	2
ЛИ1	08	2И	3
ЛИ2	09	2И-ОК	4
ЛЛ1	32	2ИЛИ	5
ЛЛ4	1032А	2ИЛИ-Мощн.	5
ЛП8	125	Буферный элемент с тремя состояниями на выходе	8

Условные обозначения: ОК — открытый коллектор, Мощн. — повышенная нагрузочная способность.

Таблица А2

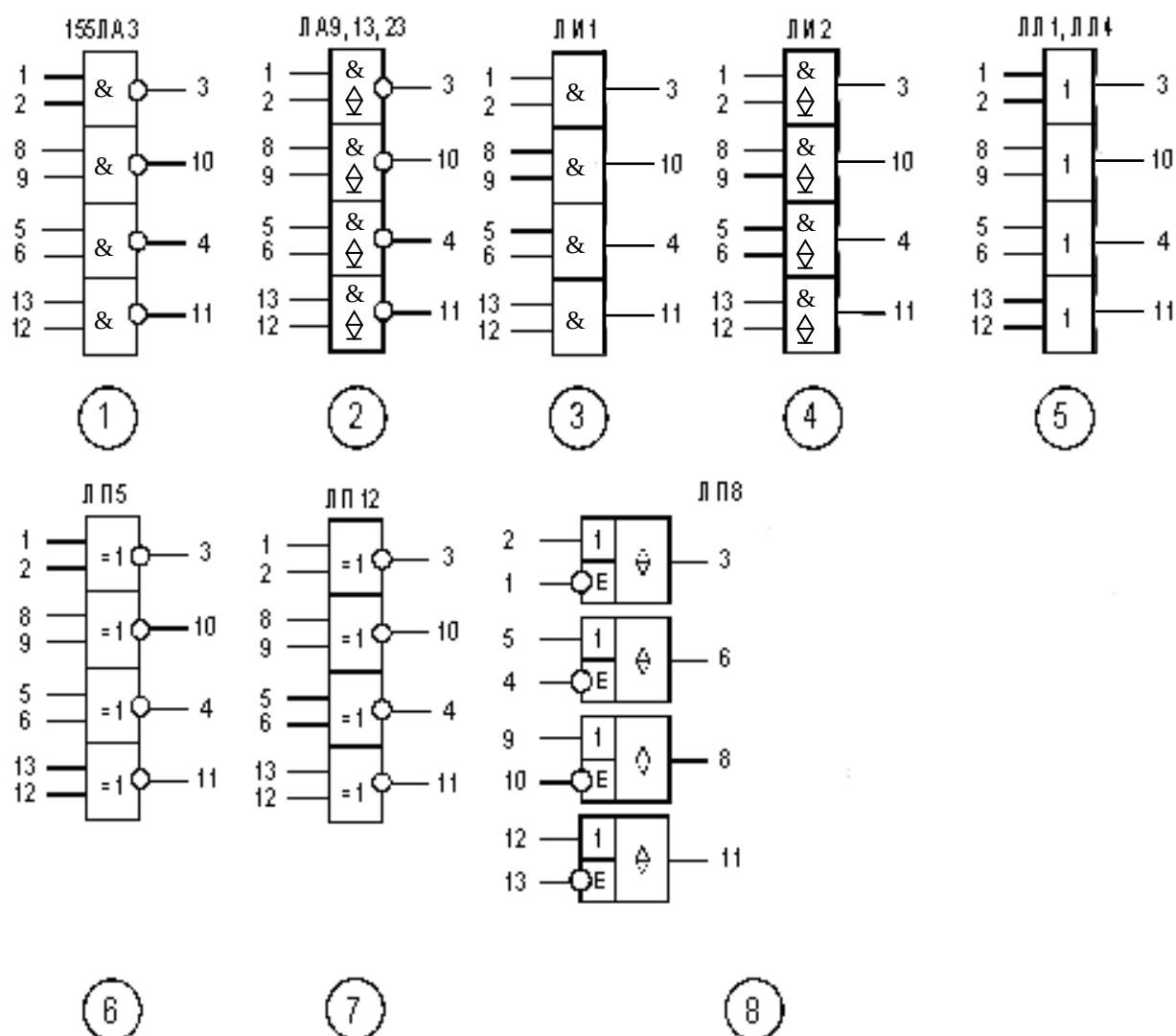
Отечественные серии ИМС	Зарубежный аналог	Технология
155	74	ТТЛ
555	74LS	ТТЛШ
531	74S	ТТЛШ
1533	74ALS	Маломощные
1531	74F...N	ТТЛШ
		ТТЛШ (fast)

Примеры обозначения ИМС.

а) К 155 ЛА 3 (зарубежный аналог 7400) - 2И-НЕ, 4 элемента, ТТЛ;

б) КР1533ЛИ2 (зарубежный аналог 74ALS09) - 2И, 4 элемента, открытый коллектор, ТТЛШ (маломощный).

Приложение Б



Е — вход управления
 ◇ — Есть Z-состояние.

Рис. Б1. ТТЛ и ТТЛШ ИМС

Таблица Б1. Состояние ИМС ЛП8

Вход X	Вход E	Выход Y
1	0	1
0	0	0
1	1	Z-сост.
0	1	Z-сост.

[illegible]

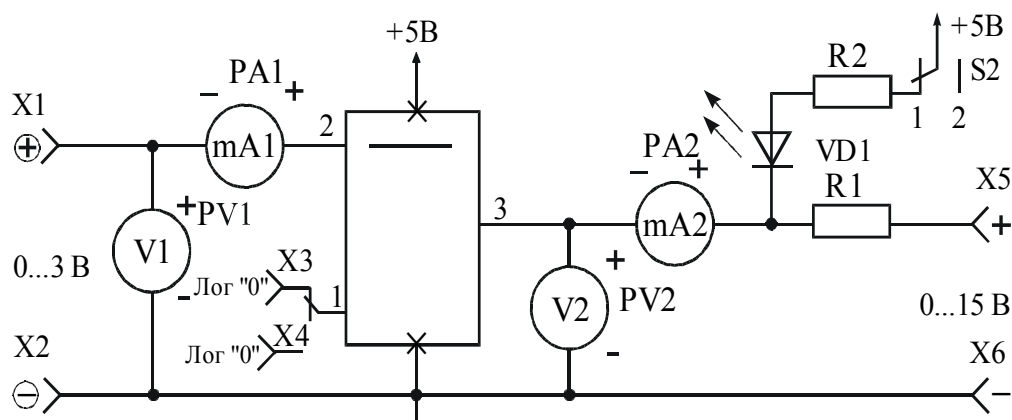
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Измерение основных характеристик и параметров элемента ТТЛ и ТТЛШ»	Зачет

1. Цель работы: измерить таблицу истинности базового элемента ТТЛ и ТТЛШ, входную характеристику, передаточную функцию, статическую помехоустойчивость, нагрузочную способность и изучить работу ТТЛ на нестандартную нагрузку.

2. Перечень оборудования:

- стенд СЛИ-1 и ячейка стенда исследования серии ТТЛ;
- микросхема серии ТТЛ, ТТЛШ.

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

Таблица 1. Таблица истинности микросхемы ...

Вход 1	Вход 2	Выход 3	
		$U_{\text{вых}}, \text{В}$	Лог. уровень
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

Таблица 2. Входная и передаточная характеристика ТТЛ

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	0	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,4	3	4
$I_{\text{вх}}, \text{mA}$											
$U_{\text{вых}}, \text{В}$											

Лабораторная работа № ____

«Измерение основных характеристик и параметров базового элемента КМОП»

1. Цель работы: измерить таблицу истинности базового элемента КМОП, передаточную функцию, статическую помехоустойчивость, нагрузочную способность.

2. Перечень используемого оборудования:

— стенд СЛИ-1;
— ячейка для исследования микросхемы К564, К561 (перечень исследуемых микросхем в приложении).

3. Краткие теоретические сведения

Микросхемы серии К564, К561, К176 — цифровые маломощные КМОП ИС, содержат в своем составе 60 типов, различных по функциональному назначению: логические схемы, счетчики, дешифраторы, триггеры и т.д.

ИС К564, ИС К561 нашли широкое применение из-за низкой мощности потребления, широких рабочих диапазонов напряжения питания (3...15 В), высокой помехоустойчивости (30...45% от $U_{пит}$), защиты по входам, температурной стабильности и высокой нагрузочной способности на низких частотах.

С увеличением тактовой частоты резко растет $P_{потр}$. Микросхемы К564 характеризуются сравнительно невысоким быстродействием ($t_{зд.р} = 50...100$ нс при $U_{пит} = 5$ В; $t_{зд.р} = 20...50$ нс при $U_{пит} = 10$ В). Имеют высокое входное сопротивление, входные токи меньше или равны 1 мкА.

Высокая нагрузочная способность КМОП микросхем объясняется малыми входными токами и ограничивается предельно допустимым выходным током — током нагрузки. Для серий К564, К561 этот ток на один вывод не должен превышать 10 мА. $K_{разв}$ для этой серии считают ~ 100 (на низких частотах).

Особенность передаточных характеристик КМОП-структур — это симметричность относительно точки переключения схемы из одного логического состояния в другое. На рис.1 изображены передаточные характеристики одного ЛЭ ИС при различных напряжениях питания.

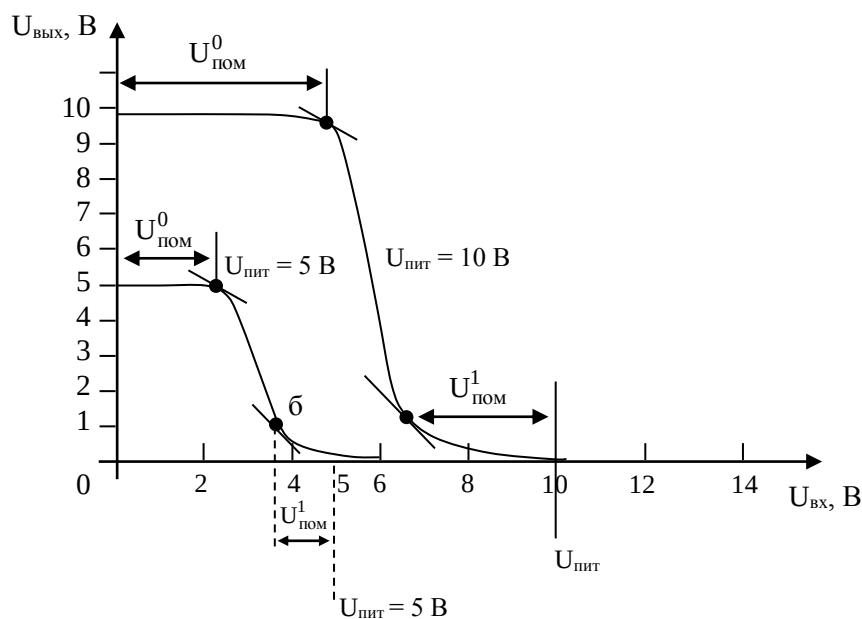


Рис. 1. Передаточная функция К564, К561

КМОП ИС K564, ИС K561 характеризуются высокой статической и динамической помехоустойчивостями. Помехоустойчивость можно выразить как способность микросхемы исключить передачу помехи с входа схемы на ее выход.

Статическая помехоустойчивость схемы соответствует длительной помехе, а динамическая — кратковременным помехам. Статическую помехоустойчивость можно определить как разность порогового напряжения (точки а и б рис. 1), в котором происходит переключение и соответствующего лог. уровня.

Так как $U_{\text{лог}}^0 = 0,01 \text{ В}$, $U_{\text{лог}}^1 = U_{\text{п}} - 0,01 \text{ В}$ для K564, то (см. рис. 1)

$$U_{\text{пом}} = \frac{U_{\text{пит}}}{3} \text{ (30 \% -ное значение величины).}$$

4. Порядок выполнения работы

4.1. Подготовка стенда СЛИ-1 к работе

Поставить тумблер S1 на левой панели в положение 6,3 В (для подачи $U_{\text{п}} = 5 \text{ В}$ на ЛЭ).

Ручки источника питания 0...3 В и 0...15 В «Грубо» и «Плавно» — в крайнее левое положение.

Включить тумблеры питания, сеть правого и левого блока питания стенда СЛИ-1 и убедиться в свечении индикаторов.

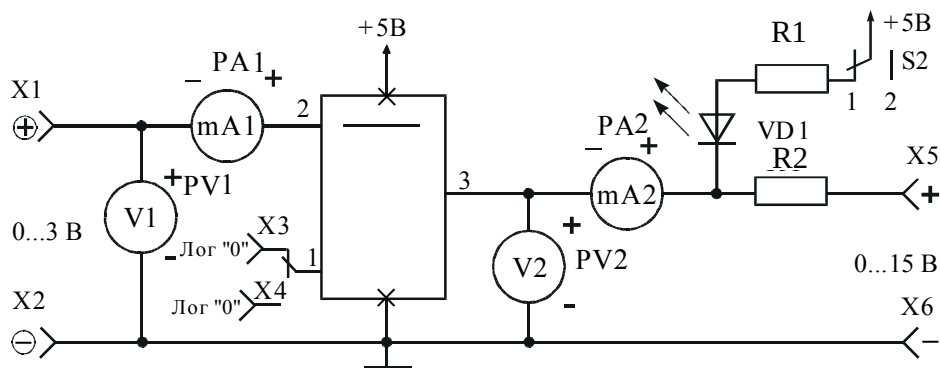


Рис. 2. Схема исследования КМОП

4.2. Измерение таблицы истинности

На вход 1 микросхемы переключателем ЛОГ. «1» — ЛОГ. «0» подается требуемый уровень ($U_{\text{лог}}^0 = 0...0,5 \text{ В}$; $U_{\text{лог}}^1 = 4...5 \text{ В}$).

На вход 2 уровень подается от источника 0...3 В по вольтметру V1.

Напряжение на выходе 3 измерять вольтметром V2. Светодиод VD1 включается тумблером S2 в положение «2». Свечение светодиода соответствует ЛОГ «0» на выходе.

Заполнить таблицу истинности и сделать выводы о выполняемой функции ЛЭ.

4.3. Измерение передаточной функции

Ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...3 В устанавливать значение входного напряжения по вольтметру V1, выходное напряжение измерять по вольтметру V2.

Таблица 1. Таблица истинности

Вход 1	Вход 2	Выход 3	
		$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	лог. уровень
0	0		
1	0		
0	1		
1	1		

Таблица 2. Передаточная характеристика

U _{вх} , В	0	0,5	1	1,5	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	4	5
U _{вых} , В												

Построить график и определить статическую помехоустойчивость. Измерять по вольтметру V2 при включенном и отключенном светодиоде VD1.

$U_{\text{лог}}^0$ (без светодиода) =

$U_{\text{лог}}^0$ (со светодиодом) =

$I_{\text{лог}}^0$ (со светодиодом) =

5. Содержание отчета: название работы, цель работы, схема измерения, передаточная функция, статическая помехоустойчивость, выводы.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Объясните принципы работы базового элемента КМОП.
- 6.2. Объясните назначение диодно-резистивной цепочки на входе КМОП.
- 6.3. Перечислите достоинства серий 561, 564 и поясните их.
- 6.4. Что такое статическая и динамическая помехоустойчивость?
- 6.5. Какая ИМС: ТТЛШ или КМОП — может обеспечить больше $I_{\text{вых}}$?
- 6.6. Поясните причину сравнительно невысокого быстродействия К564. Как оно зависит от $U_{\text{пит}}$ и почему?
- 6.7. Объясните возможность сопряжения серий К555 и К564.

Список литературы

1. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
2. Колпакова Т.И., Калиенко И.В. Логические элементы. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

Приложение

Таблица 1. Функциональный состав логических ИМС КМОП, используемый в работе

Подгруппа, вид и номер отечественной ИМС	Номер зарубежного аналога	Выполняемая функция (в каждой из этих ИМС по 4 одинаковых элемента)	№ рисунка
ЛА7	11	2И-НЕ	1
ЛЕ5	01	2ИЛИ-НЕ	2
ЛП2	30	исключающее ИЛИ	3

Таблица 2

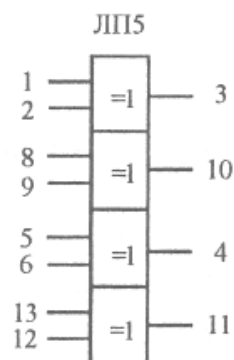
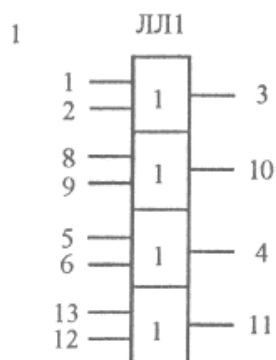
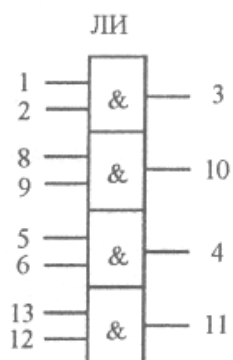
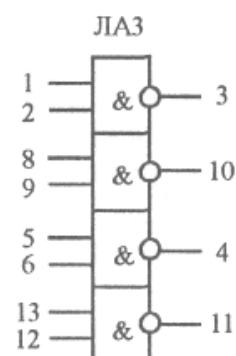
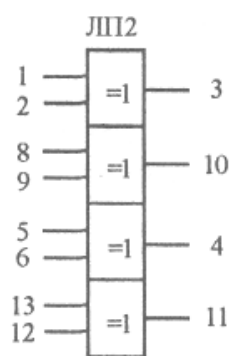
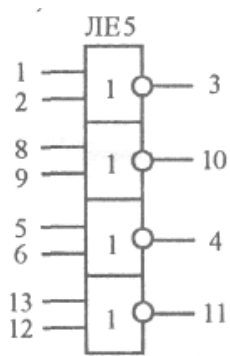
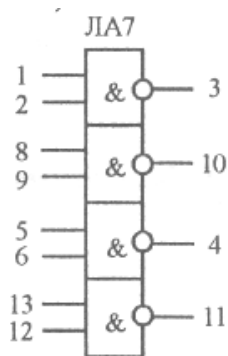
ИМС серии 1554	Функциональный зарубежный аналог	Выполняемая функция (в каждой из этих ИМС по 4 одинаковых элемента)	№ рисунка
1554ЛА3		2И-НЕ	5
1554ЛИ1		2И	6
1554ЛЛ1		2ИЛИ	7
1554ЛП5		исключающее ИЛИ	8

Таблица 3

Отечественная серия	Зарубежный аналог
K176 (устаревшая)	CD40...E
K561	CD40...AE
KP1561	CD40...BE
1554	

Примеры обозначения ИМС:

- 1) K176 ЛА7 (зарубежный аналог CD4011) — 2И-НЕ, 4 элемента;
- 2) K561 ЛП2 (зарубежный аналог CD4030AE) — исключающее -ИЛИ, 4 элемента;
- 3) 1554ЛА3 — 2И -НЕ, 4 элемента.



Отвѣты на вопросы

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

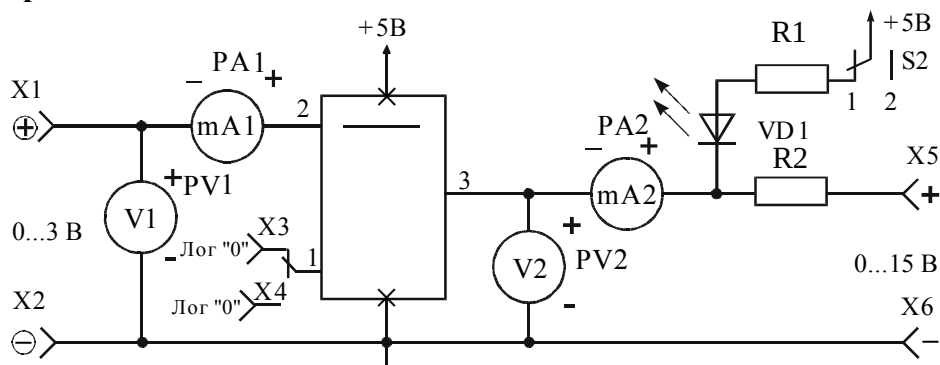
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
Ф.И.О.	Лабораторное занятие № ____ «Измерение основных характеристик и параметров базового элемента КМОП»	Зачет

1. Цель работы: измерить таблицу истинности базового элемента КМОП, передаточную функцию, статическую помехоустойчивость.

2. Перечень оборудования:

- стенд СЛИ-1;
- ячейка для исследования микросхема К564, К561 (перечень исследуемых микросхем в приложении).

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

Таблица 1. Таблица истинности

Вход 1	Вход 2	Выход 3	
		U _{вых} , В	лог. уровень
0	0		
1	0		
0	1		
1	1		

Таблица 2. Передаточная характеристика

U _{вх} , В	0	0,5	1	1,5	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	4	5
U _{вых} , В												

Лабораторная работа № _____

«Исследование логических интегральных микросхем типа ЭСЛ»

1. Цель работы: измерить таблицу истинности ЭСЛ элемента, установить тип ИМС по таблице истинности, измерить входную характеристику, передаточную функцию, определить статическую помехоустойчивость.

2. Краткие теоретические сведения

Таблица истинности зависит от выполняемой функции.

ЭСЛ логика нашла широкое применение в быстродействующих вычислительных устройствах благодаря таким преимуществам перед другими ИМС, как высокое быстродействие, большая нагрузочная способность, высокая стабильность динамических параметров при изменении напряжения питания и рабочей температуры, независимость тока потребления от частоты переключения.

Быстродействие ЭСЛ обусловлено тем, что кремниевые транзисторы работают в ненасыщенном режиме. Уменьшение времени задержки достигается в результате малого перепада выходного напряжения, но это приводит к низкой помехоустойчивости.

Серии ЭСЛ — ИС100; К100, 500; К500, 1500; К1500.

На входной характеристике $I_{BX} = f(U_{BX})$ можно выделить области II и IV — рабочие; III и V — области статической помехоустойчивости, зона переключения ЛЭ (III), I и VII — зоны предельных выходных напряжений (рис. 1).

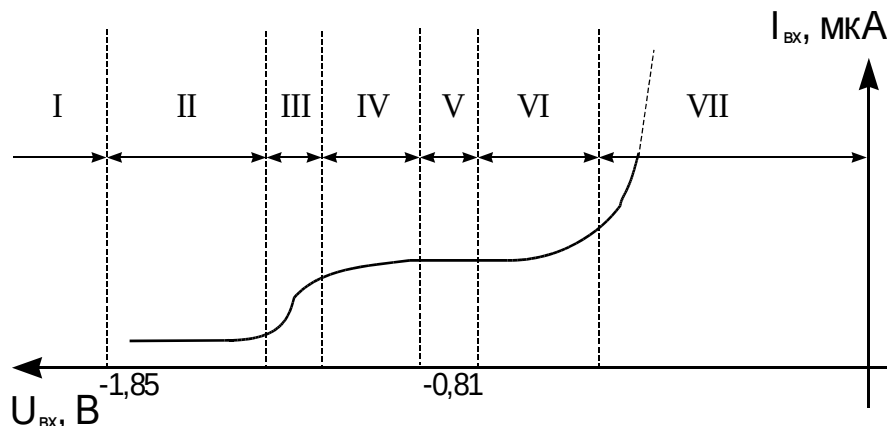


Рис. 1. Входная характеристика ЭСЛ

Передаточная характеристика — зависимость выходного напряжения от входного, по этой характеристике можно определить помехоустойчивость ИМС (рис. 2).

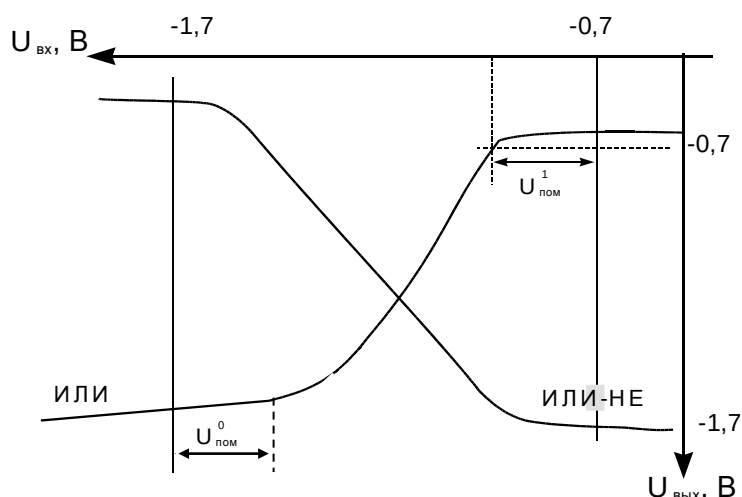


Рис. 2. Передаточная характеристика ЛЭ типа ЭСЛ

Параметры серии 500:

время задержки распространения 2,9 нс; помехоустойчивость 125...155 мВ.

$U_{\text{ВЫХ}}^1 = -0,7 \dots -0,9 \text{ В}$; $U_{\text{ВЫХ}}^0 = -1,8 \dots -1,65 \text{ В}$; $U_{\text{ПИТ}} = -5,2 \pm 5 \% \text{ В}$.

3. Перечень используемого оборудования

- стенд СЛИ-1 и ячейка стенда для исследования серии ЭСЛ;
- микросхема серии ЭСЛ.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Подготовить стенд СЛИ-1 к работе, для чего поставить тумблер S1 на левой панели в положение 6,3 В для подачи напряжения $U_{\text{ПИТ}} = -5,2 \text{ В}$ на ИМС. Ручки источника питания Е 0...3 В «Грубо» и «Плавно» установить в крайнее левое положение.

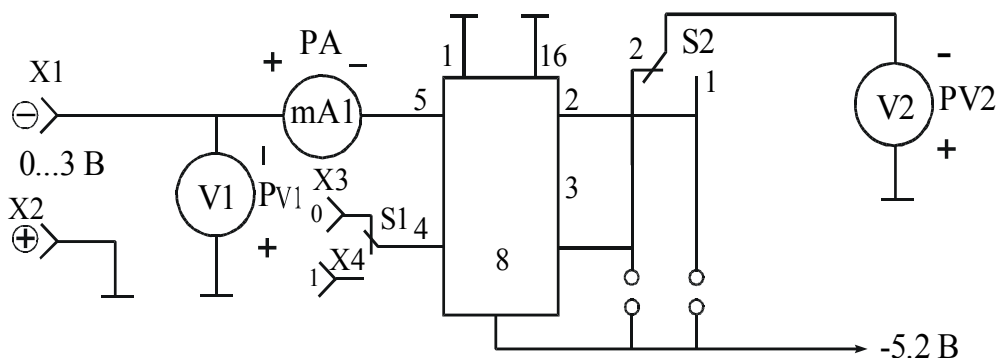


Рис. 3. Схема измерения параметров ЭСЛ

Так как на выходе ЭСЛ стоят эмиттерные повторители с открытыми эмиттерами, то необходимо устанавливать два резистора $R=200 \dots 400 \text{ Ом}$ в гнезда схемы (рис. 3).

4.2. Измерение таблицы истинности

На вход 4 ЛЭ переключателем «Лог 1» — «Лог 0» подаем требуемый уровень.

На вход 5 ЛЭ подаем напряжение от источника 0...3 В по вольтметру V1.

Напряжение на выходах измеряем по V2, который подключается к различным выходам ЛЭ согласно схеме переключателем S2.

Заполнить табл. 1, сделать выводы о выполняемой функции, нарисовать условное изображение ЛЭ из приложения и проставить выполняемую функцию.

Таблица 1. Таблица истинности

$U_{вх}, В$	Вход 5	Вход 4	Выход 2 (S2 — «1»)		Выход 3 (S2 — «2»)	
	Лог. ур.	Лог. ур.	$U_{вых}, В$	Лог. ур.	$U_{вых}, В$	Лог. ур.
-1,8	0	0				
-1,8	0	1				
-0,7	1	0				
-0,7	1	1				

4.3. Измерение входной и передаточной характеристик

Ручками «Грубо» и «Плавно» источника 0...3 В устанавливать значения входного напряжения по вольтметру V1. Заполнить табл. 2.

Для ИМС К500ЛМ105 на вход подать логический «0».

Таблица 2. Входная и передаточная характеристики ЭСЛ

$U_{вх}, В$	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2
$I_{вх}, мА$										
$U_{2вых}, В$										
$U_{3вых}, В$										

Построить графики, по передаточным функциям определить статическую помехоустойчивость, сделать выводы.

5. Содержание отчета: название, цель работы, схема измерения, таблицы, графики передаточной функции и входной характеристики, помехоустойчивость, выводы о соответствии выполняемой функции параметрам серии.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Объясните принцип работы базового элемента ЭСЛ.
- 6.2. Что будет на выходе ИМС К500ЛМ105, если на все входы подать: а) 0; б) 1?
- 6.3. Чем отличается отрицательная логика от положительной?
- 6.4. Каковы достоинства и недостатки ЭСЛ? Чем они объясняются?
- 6.5. Сравните ЭСЛ и ТТЛ по $P_{потр}$, $K_{разв}$, быстродействию.

Список литературы

1. Колпакова Т.И., Калиенко И.В. Логические элементы. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022

Приложение

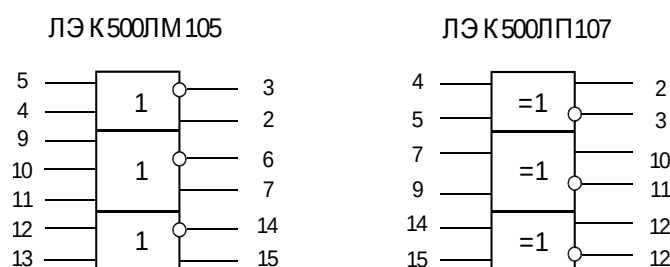


Рисунок. Условное обозначение логических элементов ЭСЛ

Ответы на вопросы

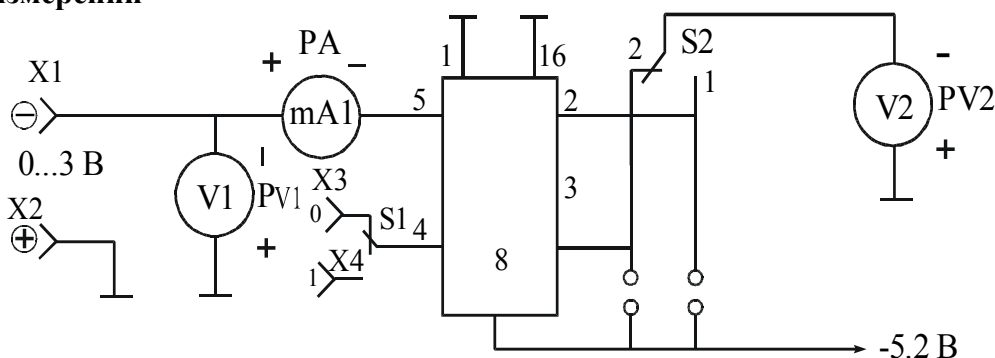
ФИО _____	Лабораторное занятие № ____ «Исследование логических интегральных микросхем типа ЭСЛ»	Зачет
--------------	--	-------

1. Цель работы: измерить таблицу истинности ЭСЛ, установить тип ИМС по таблице истинности, измерить входную характеристику, передаточную функцию, определить статическую помехоустойчивость.

2. Перечень оборудования:

- стенд СЛИ-1 и ячейка стенда для исследования серии ЭСЛ;
- микросхема серии ЭСЛ.

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

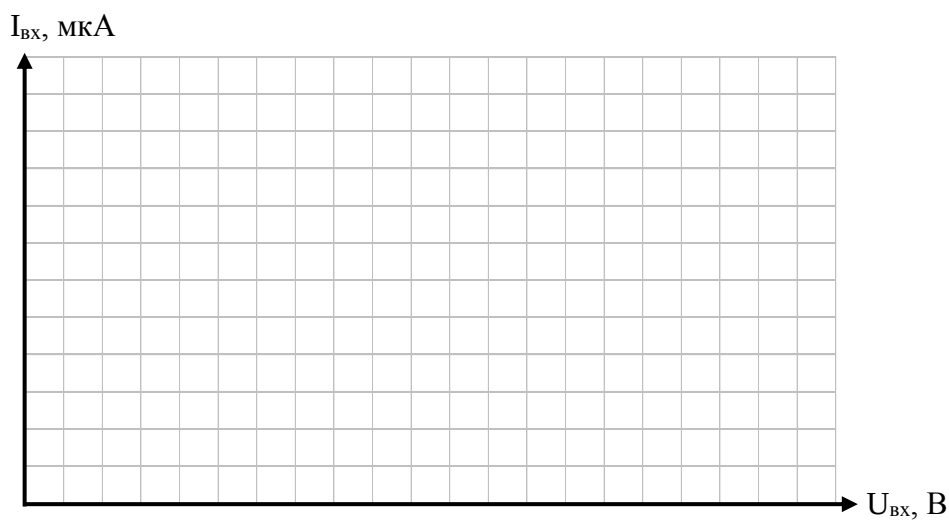
Таблица 1. Таблица истинности микросхемы ...

$U_{вх}, В$	Вход 5	Вход 4	Выход 2 (S2 — «1»)		Выход 3 (S2 — «2»)	
	Лог. ур.	Лог. ур.	$U_{вых}, В$	Лог. ур.	$U_{вых}, В$	Лог. ур.
-1,8	0	0				
-1,8	0	1				
-0,7	1	0				
-0,7	1	1				

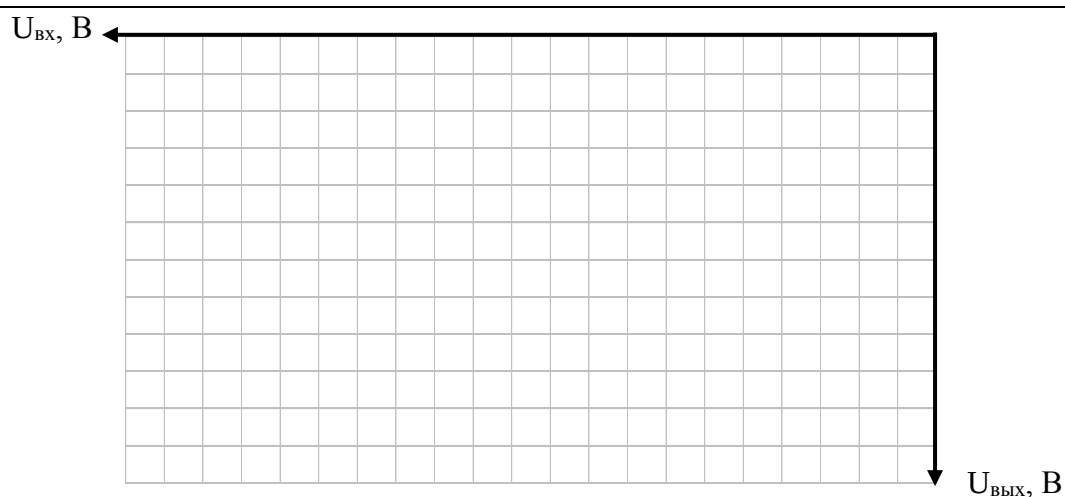
Таблица 2. Входная и передаточная характеристики ЭСЛ

$U_{вх}, В$	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1	-1,2	-1,4	-1,6	-1,8	-2
$I_{вх}, мкА$										
$U_{2_{вых}}, В$										
$U_{3_{вых}}, В$										

5. Экспериментальные характеристики



Входная характеристика ЛЭ



Передаточная характеристика ЛЭ

6. Результаты вычислений

$$U_{\text{ПOM}}^0 =$$

$$U_{\text{ном}}^1 =$$

7. Выводы.

7.1. Соответствует ли таблица истинности выполняемой функции?

7.2. Почему у ЭСЛ низкая помехоустойчивость?

7.3. Соответствует ли измеренная помехоустойчивость параметрам серии?

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

«Исследование работы инвертирующего и неинвертирующего усилителя»

1. Цель работы: исследование работы инвертирующего и неинвертирующего усилителя на основе операционного усилителя.

2. Перечень используемого оборудования:

- базовый лабораторный стенд NI ELVIS;
- лабораторные модули М7, М8.

3. Краткие теоретические сведения.

Одной из разновидностей полупроводниковых приборов являются полупроводниковые интегральные микросхемы – монолитные функциональные приборы, все элементы которых изготавливаются в едином технологическом цикле. Интегральные микросхемы предназначены для выполнения различных операций как с аналоговыми, так и с цифровыми электрическими сигналами. Среди интегральных микросхем, предназначенных для обработки аналоговых электрических сигналов, важнейшее место занимает операционный усилитель (ОУ) – полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления напряжения и обеспечивающий выполнение различных операций по преобразованию аналоговых электрических сигналов: усиление, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование и т.д. Возможность выполнения этих операций ОУ определяется наличием цепей отрицательной или положительной обратной связи, в состав которых могут входить сопротивления, емкости, индуктивности, диоды, стабилитроны, транзисторы и некоторые другие электронные элементы.

Типовой ОУ представляет собой дифференциальный усилитель с очень высоким коэффициентом усиления. На рис.1 показано условное обозначение ОУ на принципиальных схемах.

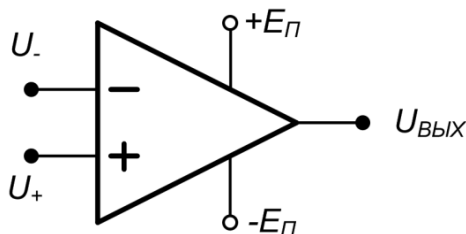


Рис. 1. Условное графическое обозначение ОУ

«-» – инвертирующий вход ОУ; «+» – неинвертирующий вход ОУ; U_- – напряжение на инвертирующем входе; U_+ – напряжение на неинвертирующем входе; $U_{вых}$ – выходное напряжение ОУ; $+E_{п}$ – положительное напряжение питания ОУ; $-E_{п}$ – отрицательное напряжение питания ОУ.

Поскольку ОУ используются как преобразователи сигналов, к их характеристикам предъявляются определенные требования. В основном эти требования сводятся к тому, чтобы характеристики наилучшим образом соответствовали характеристикам идеального ОУ. Идеальный операционный усилитель обладает следующими свойствами:

- 1 – коэффициент передачи ОУ без обратной связи равен бесконечности;
- 2 – входной ток равен нулю;
- 3 – напряжение смещения и ток смещения на выходе ОУ равны нулю;
- 4 – входное сопротивление ОУ равно бесконечности;
- 5 – выходное сопротивление ОУ равно нулю.

Для реальных ОУ коэффициент передачи на постоянном токе колеблется в пределах от 10000 до 2000000.

Большинство ОУ имеют биполярный выход. Это означает, что выходной сигнал может иметь как положительную, так и отрицательную полярность. Поэтому для нормальной работы ОУ требуются два источника питания.

Выходное напряжение никогда не может превысить напряжение питания ($-U_{П} < U_{ВЫХ} < +U_{П}$). Как правило, максимальное выходное напряжение ОУ на доли вольта меньше напряжения питания. Это ограничение известно как напряжение ограничения (положительное $U_{огр+}$ и отрицательное $U_{огр-}$).

При высоком значении коэффициента передачи достаточно трудно управлять усилителем и удерживать его от перехода в режим насыщения выходного сигнала. С помощью внешних цепей часть выходного сигнала можно передать обратно на вход, т.е. организовать обратную связь. Применяя отрицательную обратную связь, когда сигнал с выхода усилителя приходит на вход в противофазе с входным сигналом, можно сделать усилитель более стабильным. Однако это приводит к снижению коэффициента передачи по сравнению с усилителем без обратной связи. Обычно схемы ОУ с цепью обратной связи имеют коэффициент передачи от 10 до 1000, т.е. меньше, чем собственный коэффициент передачи ОУ более чем в тысячу раз. Если обратная связь положительна, усилитель переходит в режим генерирования колебаний, т.е. становится автогенератором.

На рис. 2 показана схема инвертирующего усилителя. Цепь обратной связи в этом случае представляет собой единственный резистор R_{OC} , который служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход. Тот факт, что резистор соединен с инвертирующим входом, указывает на отрицательный характер обратной связи.

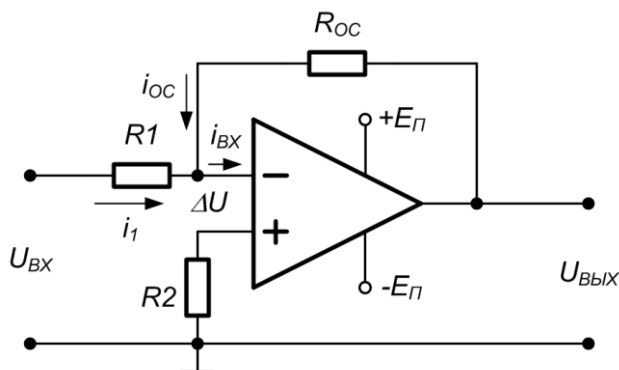


Рис. 2. Принципиальная схема инвертирующего усилителя на ОУ

В данной схеме входное напряжение $U_{ВХ}$ подается на инвертирующий вход ОУ через резистор $R1$. Резистор $R2$ включен в цепь неинвертирующего входа для уменьшения составляющей погрешности выходного напряжения, обусловленной протеканием тока во входных цепях реального операционного усилителя. Сопротивление резистора $R2$ определяется из соотношения:

$$R1 = R2$$

Выходное напряжение схемы будет равно:

$$U_{ВЫХ} = -(R_{OC} / R1) U1 = -KU1, \quad (2)$$

где K – коэффициент передачи усилителя, охваченного обратной связью, равный:

$$K = R_{OC} / R1. \quad (3)$$

Знак минус в выражении (2) означает, что выходной сигнал имеет полярность, противоположную входному сигналу, т.е. инвертирован относительно него, поэтому такой усилитель называют инвертирующим усилителем. Коэффициент передачи инвертирующего уси-

лителя на операционном усилителе можно регулировать посредством выбора сопротивлений двух резисторов, $R1$ и R_{oc} .

Примечание: Во всех схемах лабораторного практикума, построенных на основе операционного усилителя, установлено напряжение питания ОУ $U_{П} = \pm 9$ В для согласования диапазона изменения выходного сигнала ОУ с пределами измерения (± 10 В) каналов аналогового ввода лабораторной станции NI ELVIS.

Схема неинвертирующего усилителя на основе операционного усилителя приведена на рис. 3. Входное напряжение в этой схеме подается на неинвертирующий вход ОУ через резистор $R2$. Он предназначен, как и в схеме инвертирующего усилителя, для уменьшения составляющей погрешности выходного напряжения, вызванной входными токами реального операционного усилителя. Сопротивление резистор $R2$ выбирается по соотношению $R2 = R1$.

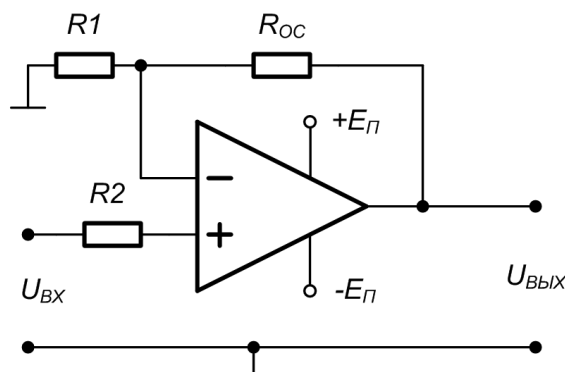


Рис. 3. Принципиальная схема неинвертирующего усилителя на ОУ

Данная схема усиливает входной сигнал без изменения его знака. Коэффициент усиления с контуром обратной связи равен:

$$K = (1 + R_{oc}/R1).$$

Можно показать, что выходной импеданс схемы $Z_{ВЫХ}$ стремится к нулю, если коэффициент усиления ОУ с разорванной петлей ОС становится очень большим. Таким образом, неинвертирующий усилитель на ОУ может служить буфером между схемами, подключенными к его входу и выходу.

Особым является случай, когда $R_{oc} = 0$, а резистор $R1$ во входной цепи отсутствует (рис. 4). При этом отпадает надобность и в резисторе $R2$. Тогда $U_{ВЫХ} = U_{ВХ}$; Такая схема называется повторителем напряжения, т.к. коэффициент усиления по напряжению для нее равен 1. Эта схема используется для преобразования импеданса и может иметь большой коэффициент усиления по мощности.

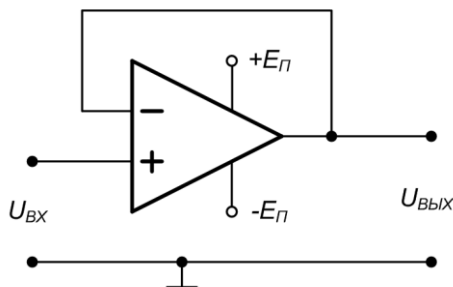


Рис.4. Принципиальная схема повторителя напряжения на ОУ

4. Порядок выполнения работы

4.1. Исследование инвертирующего усилителя

Установите ключ в разъем модуля М7 лабораторного стенда (рис. 5).

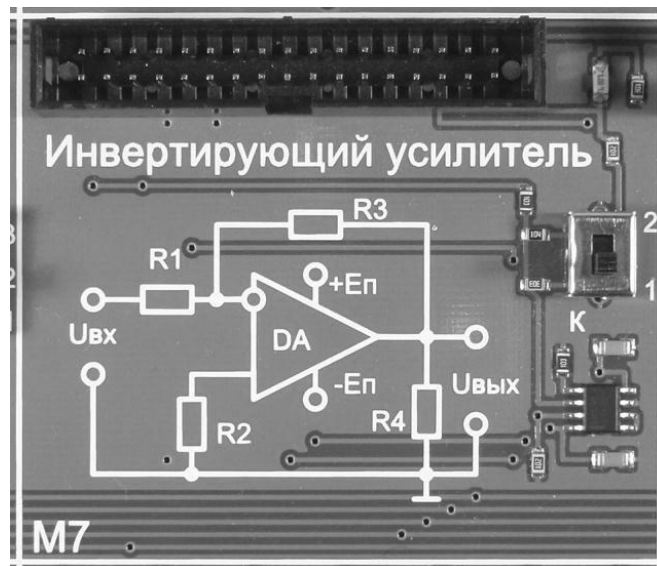


Рис. 5. Внешний вид модуля М7

Запустите программу **Lab11(M7).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «Получение передаточной характеристики» (рис. 5), используемая при выполнении задания 1.

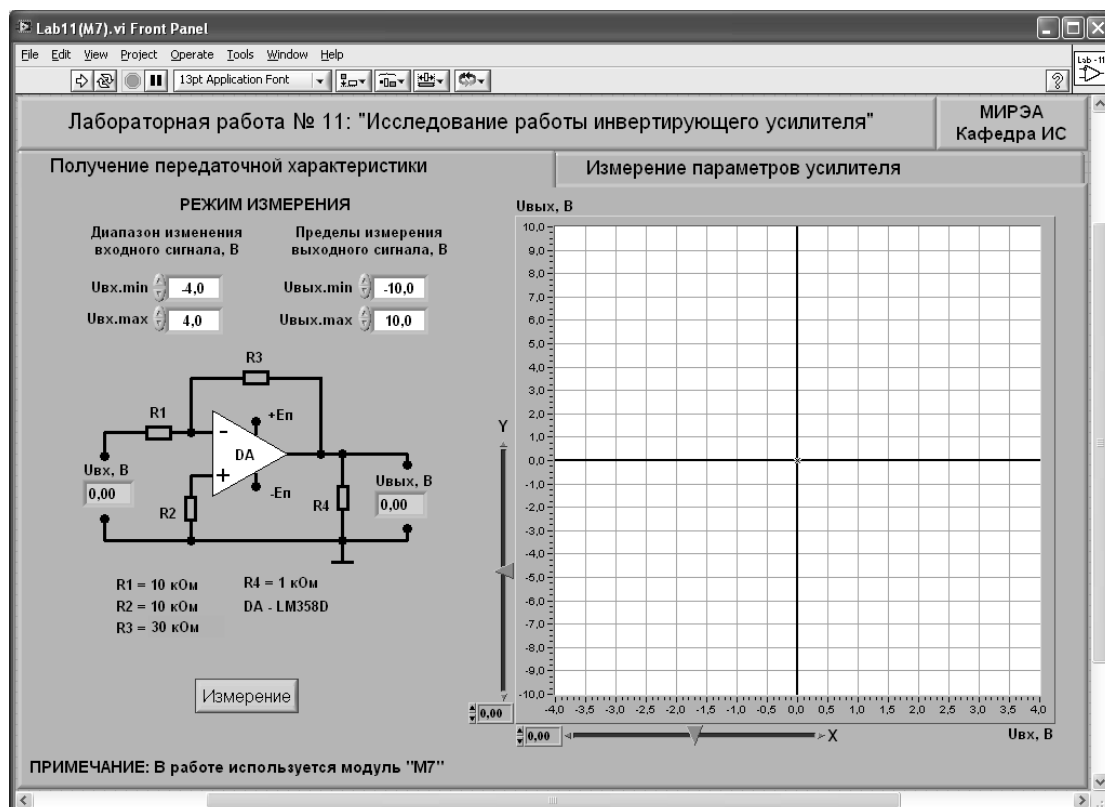


Рис. 6. Лицевая панель ВП, при выполнении пункта 4. 1.1

4.1.1. Измерение передаточной характеристики инвертирующего усилителя

4.1.1.1. Установить переключатель «К» модуля М7 в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R3 сопротивлением 30 кОм.

4.1.1.2. С помощью элементов управления ВП установить диапазон изменения входного сигнала (рекомендуемые значения $U_{BX.min} = -4,0$ В, $U_{BX.max} = 4,0$ В) и пределы изменения выходного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВЫХ.min} = -10$ В, $U_{ВЫХ.max} = 10$ В). Нажать на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена передаточная характеристика инвертирующего усилителя. Скопируйте полученную характеристику в отчет.

4.1.1.3. По передаточной характеристике определить положительное $U_{огр+}$ и отрицательное $U_{огр-}$ напряжения ограничения сигнала на выходе схемы, используя для этого горизонтальную линию курсора, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Y». Полученные результаты запишите в отчет.

4.1.1.4. Определить коэффициент усиления инвертирующего усилителя. Для этого на передаточной характеристике с помощью горизонтальной и вертикальной линий курсора определите координаты двух произвольных точек на наклонном участке характеристики и произведите вычисления по формуле: $K_{ус} = (U_{ВЫХ.2} - U_{ВЫХ.1}) / (U_{ВХ.2} - U_{ВХ.1})$. Полученный результат запишите в отчет.

4.1.1.5. Установить переключатель «К» модуля М7 в положение «2». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R3 сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.1.1.2–4.1.1.4.

4.1.2. Измерение напряжения смещения.

4.1.2.1. Установить переключатель «К» модуля М7 в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R3 сопротивлением 30 кОм.

4.1.2.2. С помощью элементов управления ВП установить диапазон изменения входного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВХ.min} = -0,1$ В, $U_{ВХ.max} = 0,1$ В) и пределы изменения выходного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВЫХ.min} = -1$ В, $U_{ВЫХ.max} = 1$ В). Нажать на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена передаточная характеристика инвертирующего усилителя. Скопируйте полученную характеристику в отчет.

4.1.3. Исследование работы инвертирующего усилителя.

4.1.3.1. Установить переключатель «К» модуля М7 в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R3 сопротивлением 30 кОм.

4.1.3.2. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Измерение параметров усилителя». На экране появится изображение ВП, приведенное на рис. 7.

4.1.3.3. С помощью элементов управления ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – *синусоидальная*, частота сигнала – **200 Гц**. Амплитуду входного сигнала выберите такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Скопируйте полученное изображение в отчет.

4.1.3.4. Используя изображение, полученное на графическом индикаторе ВП, сравните фазы сигналов на входе и выходе инвертирующего усилителя. Сделайте вывод о характере изменения фазы сигнала инвертирующим усилителем и запишите его в отчет.

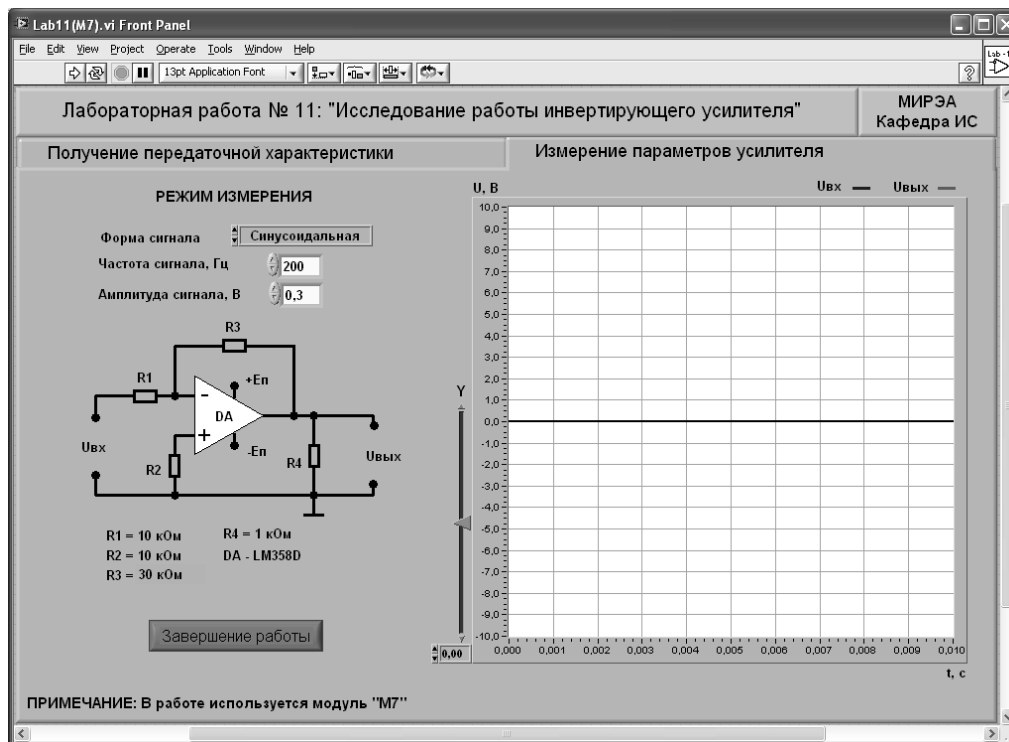


Рис. 7. Лицевая панель ВП при выполнении пункта 4.1.3

4.1.3.5. Используя изображения входного и выходного сигналов на графическом индикаторе ВП, определите с помощью горизонтальной линии курсора амплитуды входного $U_{ВХ.т}$ и выходного $U_{ВЫХ.т}$ сигналов. По полученным данным вычислите коэффициент усиления инвертирующего усилителя по формуле: $K = U_{ВЫХ.т} / U_{ВХ.т}$. Результат запишите в отчет.

Примечание: Для определения амплитуды сигнала необходимо измерить его максимальное u_{max} и минимальное u_{min} мгновенные значения и произвести вычисление по формуле:

$$U_m = (u_{max} - u_{min}) / 2.$$

4.1.3.6. Рассчитайте коэффициент усиления инвертирующего усилителя. Для расчета воспользуйтесь соотношением $K = R_3 / R_1$. Результат запишите в отчет.

4.1.3.7. Сравните значения коэффициентов усиления, полученные по передаточной характеристике (п. 4.1.1.4), на основе результатов измерений (п. 4.1.3.5) и расчетным путем (п. 4.1.3.6). Выводы и результаты запишите в отчет.

4.1.3.8. Установите переключатель «К» модуля М7 в положение «2».

При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R_3 сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп. 4.1.3.3 – 4.1.3.7.

4.1.3.9. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Завершение работы».

4. 2 Исследование неинвертирующего усилителя:

Установить ключ в разъем модуля М8 лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис. 8.

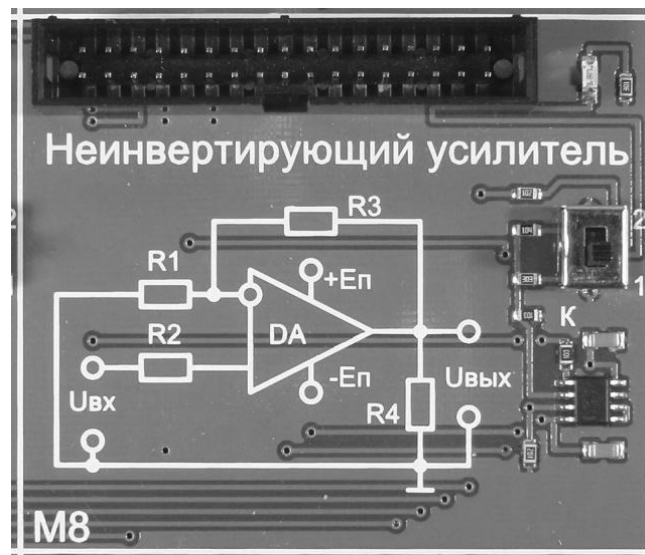


Рис. 8. Внешний вид модуля **M8**

Загрузите и запустите программу **Lab12(M8).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «Получение передаточной характеристики» (рис. 9), используемая при выполнении пункта 4.2.1.

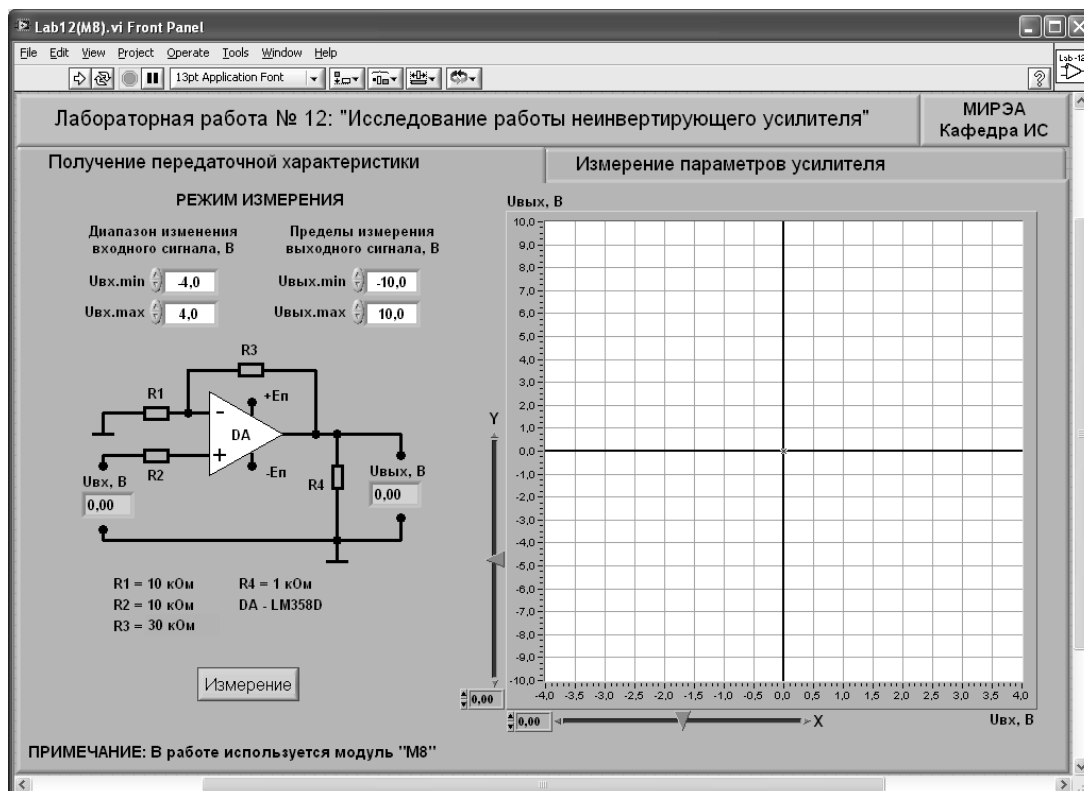


Рис. 9. Лицевая панель ВП, при выполнении пункта 4.2.1

4.2.1 Измерение передаточной характеристики неинвертирующего усилителя

4.2.1.1. Установить переключатель «К» модуля **M8** в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор **R3** сопротивлением 30 кОм.

4.2.1.2. С помощью элементов управления ВП установить диапазон изменения входного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВХ.min} = -4,0$ В, $U_{ВХ.max} = 4,0$ В) и пределы изменения выходного сигнала (рекомендуемые значения $U_{ВЫХ.min} = -10$ В, $U_{ВЫХ.max} = 10$ В). Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена

передаточная характеристика неинвертирующего усилителя. Скопируйте полученную характеристику в отчет.

4.2.1.3. По передаточной характеристике определить положительное $U_{огр+}$ и отрицательное $U_{огр-}$ напряжения ограничения сигнала на выходе схемы, используя для этого горизонтальную линию курсора, перемещаемую с помощью ползункового регулятора «Y». Полученный результат запишите в отчет.

4.2.1.4. Определить коэффициент усиления неинвертирующего усилителя. Для этого на передаточной характеристике с помощью горизонтальной и вертикальной линий курсора определите координаты двух произвольных точек на наклонном участке характеристики и произведите вычисления по формуле: $K_{ус} = (U_{вых.2} - U_{вых.1}) / (U_{вх.2} - U_{вх.1})$. Полученный результат запишите в отчет.

4.2.1.5. Установить переключатель «К» модуля **М8** в положение «2». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор **R3** сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2.1.2–4.2.1.4.

4.2.2. Исследование работы неинвертирующего усилителя

4.2.2.1. Установите переключатель «К» модуля **М8** в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор **R3** сопротивлением 30 кОм.

4.2.2.2. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Измерение параметров усилителя». На экране появится изображение ВП, приведенное на рис. 10.

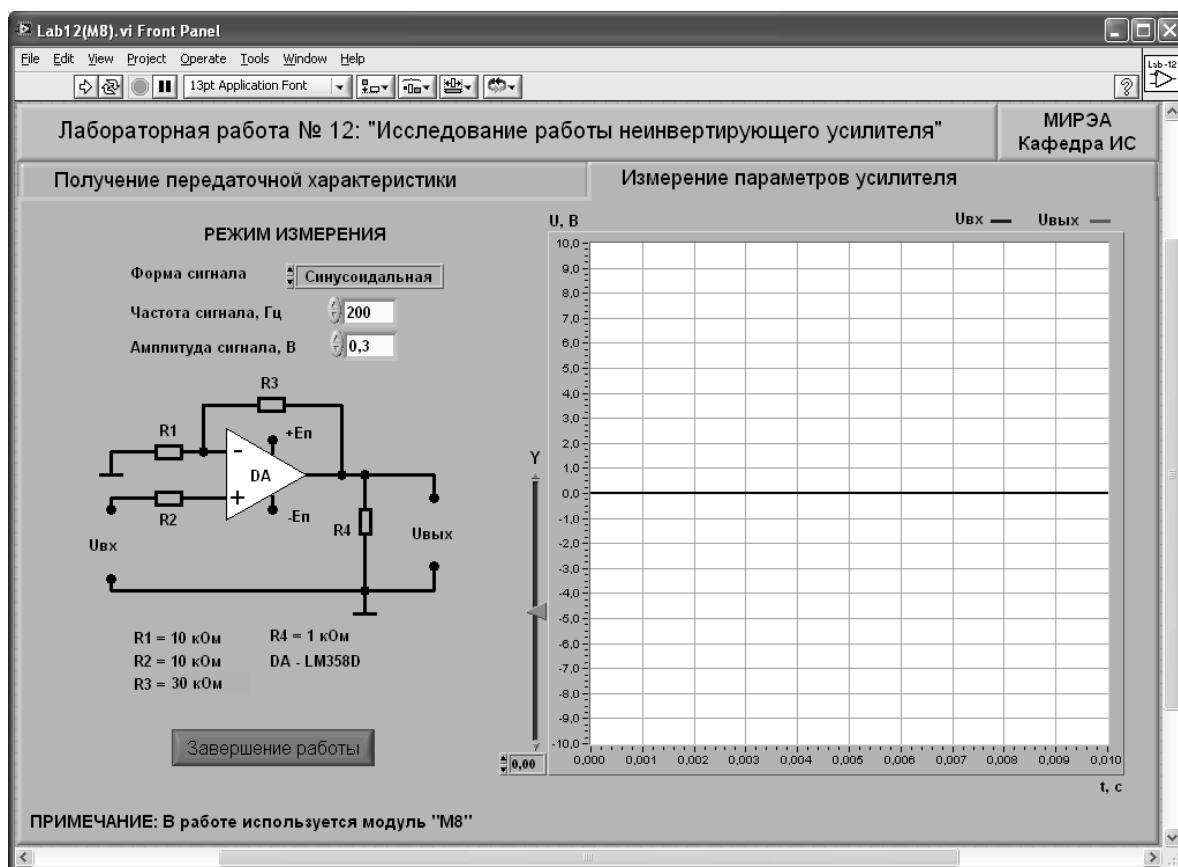


Рис. 10. Лицевая панель ВП при выполнении пункта 4. 2.2

4.2.2.3. С помощью элементов управления ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – *синусоидальная*, частота сигнала – **200 Гц**. Амплитуду входного сигнала выберите такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения и измерений. Скопируйте полученное изображение в отчет.

4.2.2.4. Используя изображение, полученное на графическом индикаторе ВП, сравните фазы сигналов на входе и выходе неинвертирующего усилителя. Сделайте вывод о характере изменения фазы сигнала неинвертирующим усилителем и запишите его в отчет.

4.2.2.5. Используя изображения входного и выходного сигналов, полученные на графическом индикаторе ВП, определите с помощью горизонтальной линии курсора амплитуды входного $U_{ВХ.м}$ и выходного $U_{ВЫХ.м}$ сигналов. По полученным данным вычислите коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по формуле: $K = U_{ВЫХ.м} / U_{ВХ.м}$. Результат запишите в отчет.

Примечание: Для определения амплитуды сигнала необходимо измерить его максимальное u_{max} и минимальное u_{min} мгновенные значения и произвести вычисление по формуле:

$$Um = (u_{max} - u_{min})/2.$$

4.2.2.6. Рассчитайте коэффициент усиления неинвертирующего усилителя. Для расчета воспользуйтесь соотношением $K = 1 + R3 / R1$. Результат запишите в отчет.

4.2.2.7. Сравните значения коэффициентов усиления, полученные по передаточной характеристике (п.4.2.1.4), на основе результатов измерений (п.4.2.2.5) и расчетным путем (п.4.2.2.6). Выводы и результаты запишите в отчет.

4.2.8. Установите переключатель «К» модуля **М8** в положение «2». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор **R3** сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.2.2.3 – 4.2.2.7.

4.2.9. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «**Завершение работы**».

5. Контрольные вопросы

1. Что такое операционный усилитель?
2. Перечислите основные характеристики операционного усилителя и методы их измерения.
3. Приведите схему инвертирующего усилителя на основе ОУ и выражение для расчета его коэффициента передачи.
4. Какова разность фаз между входным и выходным сигналами инвертирующего усилителя на ОУ? Почему?
5. Чем определяется постоянная составляющая выходного напряжения усилителя на ОУ?
6. При каких условиях для анализа схемы инвертирующего усилителя на основе ОУ можно использовать соотношения, описывающие работу идеального ОУ?
7. Приведите схему неинвертирующего усилителя на основе ОУ и выражение для расчета его коэффициента передачи.
8. Каковы величины входного и выходного сопротивлений неинвертирующего усилителя?
9. Приведите схему повторителя напряжения на основе ОУ.
10. За счет чего повторитель напряжения может иметь большой коэффициент усиления по мощности?
11. Какова разность фаз между входным и выходным сигналами неинвертирующего усилителя на ОУ? Почему?
12. При каких условиях для анализа схемы неинвертирующего усилителя на основе ОУ можно использовать соотношения, описывающие работу идеального ОУ?

Список литературы

1. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
2. Колпакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.
3. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

[illegible]

Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____ «Исследование работы инвертирующих и неинвертирующих усилителей»	Зачет

1. Цель работы: Исследование работы инвертирующих и неинвертирующих усилителей на основе операционного усилителя.

2. Схемы измерений.

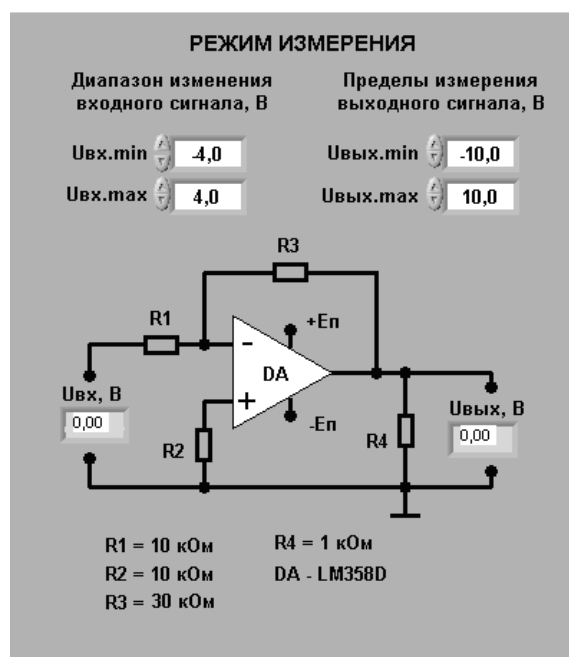


Рис. 1. Схема инвертирующего усилителя

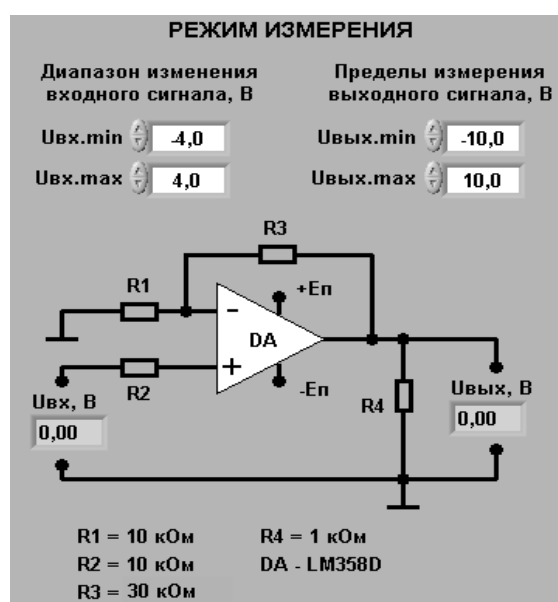


Рис. 2. Схема неинвертирующего усилителя

3. Получение передаточных характеристик.

Примечание: вначале все измерения производим для инвертирующего усилителя, копируем графики и заполняем таблицы. Потом аналогично выполняем измерения для неинвертирующего усилителя.

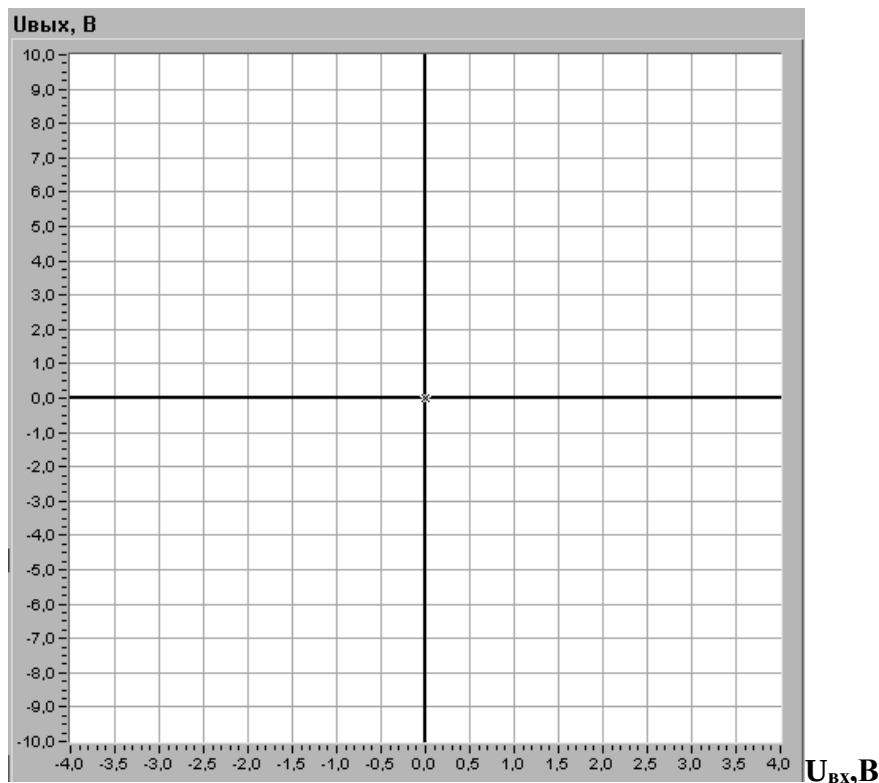


Рис. 3. Передаточные характеристики

3.1. Скопировать передаточную характеристику инвертирующего усилителя при $R_3 = 30\text{ кОм}$ и при $R_3 = 100\text{ кОм}$.

3.2. Скопировать передаточную характеристику неинвертирующего усилителя при $R_3 = 30\text{ кОм}$ и при $R_3 = 100\text{ кОм}$.

3.3. По передаточным характеристикам рассчитать коэффициенты усиления обоих усилителей, определить положительные и отрицательные напряжения ограничения сигнала, заполнить табл. 1.

$$K_{uc} = (U_{\text{вых.2}} - U_{\text{вых.1}}) / (U_{\text{вх.2}} - U_{\text{вх.1}}).$$

Входные и выходные напряжения определяются по координатам двух произвольных точек на наклонном участке.

3.4. Измерение напряжения смещения:

3.4.1. Установить диапазон изменения входного сигнала $U_{\text{вх.min}} = -0,1\text{ В}$, $U_{\text{вх.max}} = 0,1\text{ В}$ и пределы измерения выходного сигнала $U_{\text{вых.min}} = -0,1\text{ В}$, $U_{\text{вых.max}} = 0,1\text{ В}$.

3.4.2. Скопировать полученную передаточную характеристику в рис. 4 для $R_3 = 30\text{ кОм}$ и $R_3 = 100\text{ кОм}$.

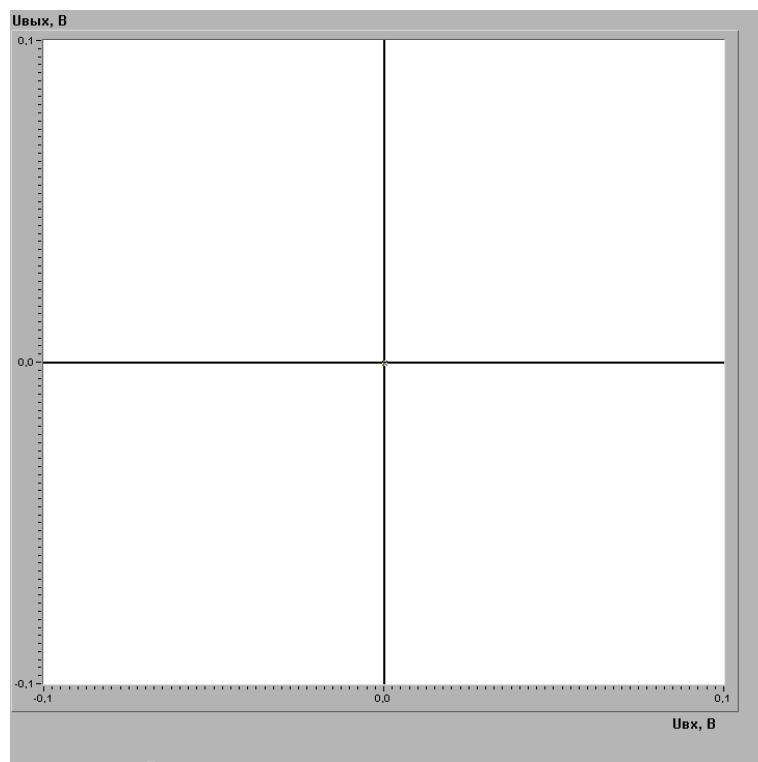


Рис. 4. Передаточная характеристика для определения напряжения смещения

Цена деления по горизонтали – 2,5 мВ.

Определить напряжение смещения. $U_{см} =$

Таблица 1

Инвертирующий усилитель			Неинвертирующий усилитель	
Параметр	R3 = 30 кОм	R3 = 100 кОм	R3 = 30 кОм	R3 = 100 кОм
$U_{огр. +}, В$				
$U_{огр. -}, В$				
$U_{вх1}, В$				
$U_{вых1}, В$				
$U_{вх2}, В$				
$U_{вых2}, В$				
$K_{ус.}$				

4. Исследование работы усилителей.

4.1 Исследование работы инвертирующего усилителя.

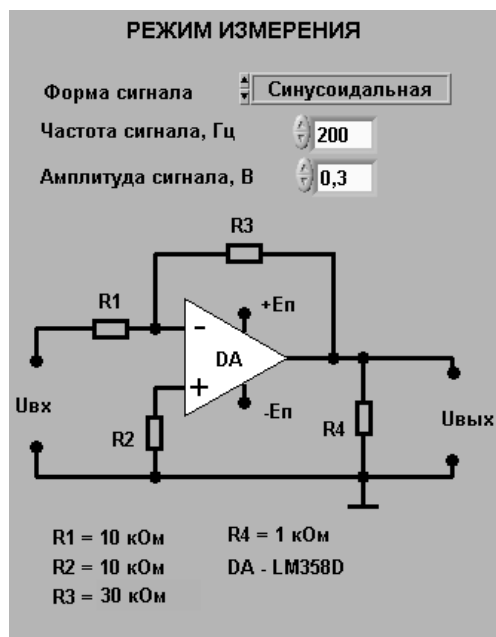


Рис. 5. Схема измерения инвертирующего усилителя

4.1.1 Скопировать осциллограммы входного и выходного сигналов в рис.6.

4.1.2 Определить амплитуды входного и выходного сигналов, рассчитать коэффициент усиления по формуле:

$$K_{\text{ус.эксп}} = U_{\text{вых.м}} / U_{\text{вх.м}}$$

4.1.3 Рассчитать коэффициент усиления инвертирующего усилителя по теоретической формуле

$$K_{\text{ус. теор}} = R3/R1$$

Заполнить табл.2

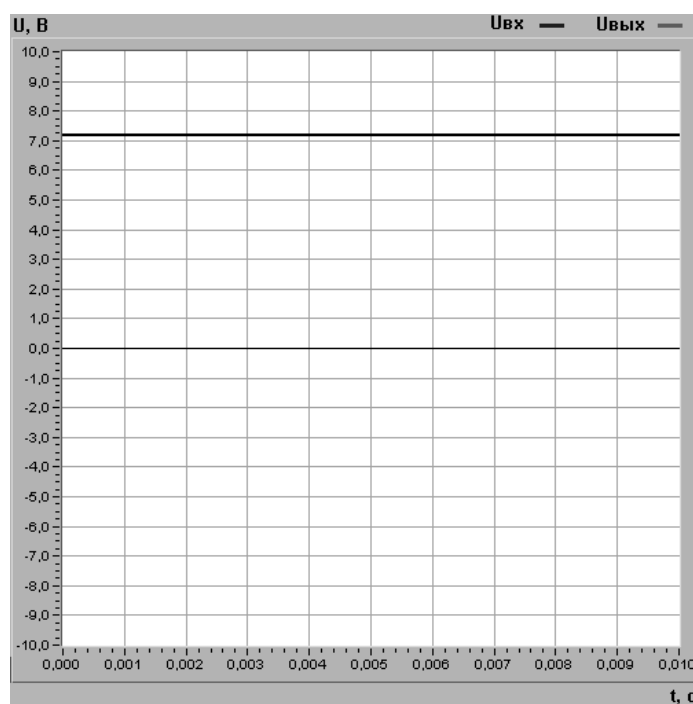


Рис. 6. Временные диаграммы входного и выходного сигналов инвертирующего усилителей

4.2. Исследование работы неинвертирующего усилителя.

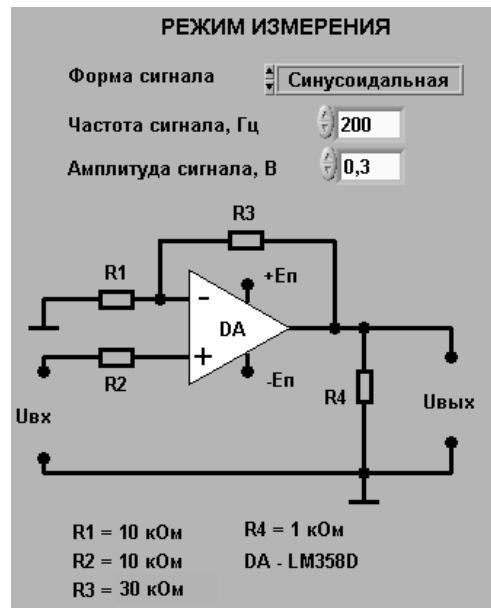


Рис. 7. Схема измерения неинвертирующего усилителя

4.2.1 Скопировать осциллограммы входного и выходного сигналов в рис. 8.

4.2.2 Определить амплитуды входного и выходного сигналов, рассчитать коэффициент усиления по формуле:

$$K_{\text{ус.эксп}} = U_{\text{вых.п}}/U_{\text{вх.п}}$$

4.2.3 Рассчитать коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по теоретической формуле:

$$K_{\text{ус. теор}} = 1 + R3/R1$$

Заполнить табл.2

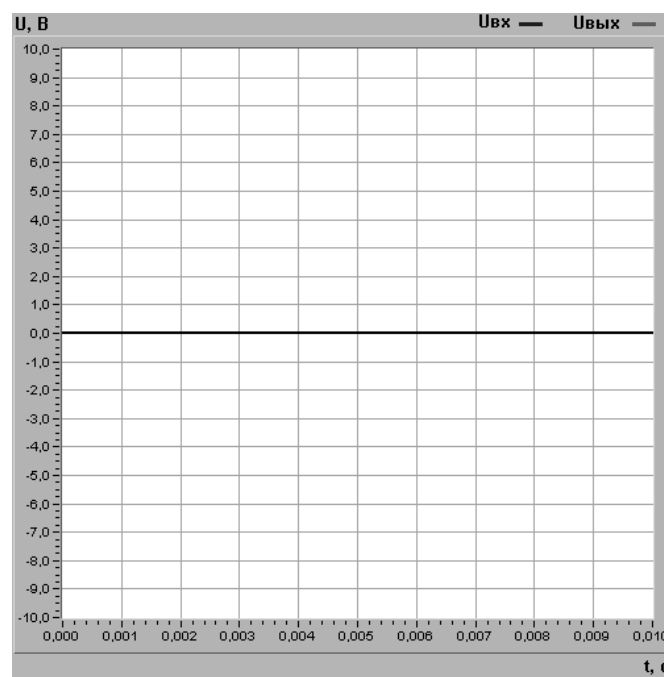


Рис. 8. Временные диаграммы входного и выходного сигналов неинвертирующего усилителей

Таблица 2

Инвертирующий усилитель		Неинвертирующий усилитель	
R3 = 30кОм	R3 = 100кОм	R3 = 30кОм	R3 = 100кОм
Uвых.м, В			
Uвх.м, В			
Кус. эксп.			
Кус. теор.			

5. Выводы:

5.1. Сделать вывод о влиянии резисторов в цепи обратной связи на коэффициенты усиления инвертирующих и неинвертирующих операционных усилителей.

5.2. Сравните коэффициенты усиления инвертирующих и неинвертирующих операционных усилителей.

5.3. Сравните фазы сигналов на входе и выходе инвертирующих и неинвертирующих операционных усилителей.

5.4. Сравните значения коэффициентов усиления, полученных по передаточной характеристике, рассчитанных по временным диаграммам и по теоретическим формулам.

[illegible]

Лабораторное занятие № ____

«Исследование схем включения операционного усилителя»

1. Цель работы: исследование работы операционного усилителя в схемах с отрицательной обратной связью.

2. Используемое оборудование
- ПК. Программа Multisim

3. Краткие теоретические сведения

Операционный усилитель (ОУ) – это усилитель, имеющий большой коэффициент усиления по напряжению, два входа, причем один из входов инвертирующий, и один выход. Операционный усилитель обычно выполняется в виде микросхемы. В схеме ОУ отсутствуют разделительные конденсаторы, поэтому он может использоваться в качестве усилителя постоянного тока.

На основе ОУ строят инвертирующий и неинвертирующий усилители. Как правило, ОУ включается в схему с отрицательной обратной связью (ООС). Схема неинвертирующего ОУ с ООС приведена на рис. 1.

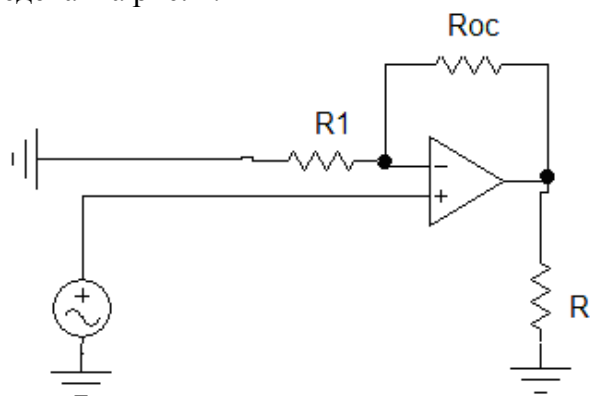


Рис. 1

Резисторы R1 (1 кОМ) и R_{oc} (5 кОМ) образуют цепь последовательной обратной связи по напряжению. Коэффициент усиления по напряжению будет равен:

$$K = 1 + \frac{R_{oc}}{R_1} \quad (1)$$

Из формулы очевидно, что коэффициент усиления неинвертирующего усилителя определяется цепью ООС. Схема инвертирующего ОУ приведена на рис. 2.

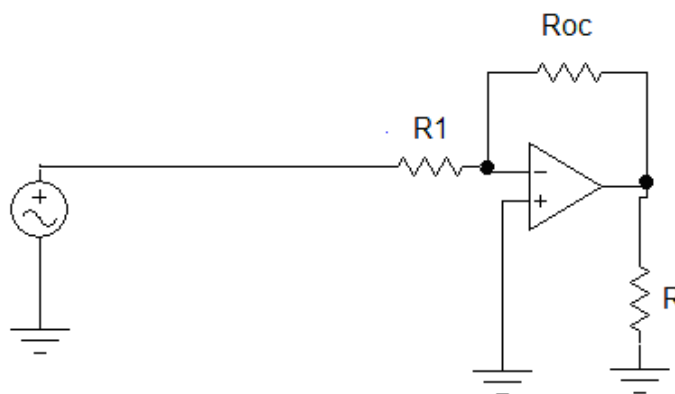


Рис. 2

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя будет равен:

$$K = -\frac{R_{oc}}{R_1}$$

ОУ может использоваться для выполнения операций сложения, вычитания, умножения, дифференцирования, интегрирования сигналов и т.д.

4. Задание

Исследовать работу операционного усилителя в схемах с отрицательной обратной связью.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Откройте схему ОУ, включенного без обратной связи (рис. 3). Для этого необходимо активизировать программу Multisim. Выбрать папку «Электронная техника» и открыть файл «ОУ без ООС».

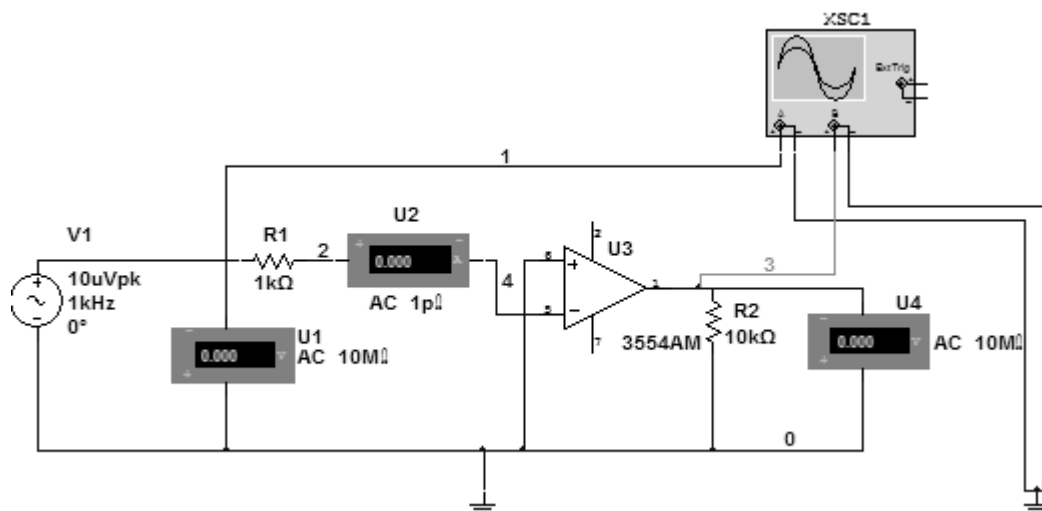


Рис. 3

5.2. Двойным щелчком левой кнопки «мыши» по генератору синусоидальных колебаний V1 открыть его настройки (**AC POWER**) и установить следующие параметры:

- напряжение (Voltage(V)) – $10 \mu\text{V}$;
- частоту (Frequency) – 1 kHz;
- фазу (Phase) – 0.

5.3. Включите схему, нажав кнопку «0-1» в верхнем правом углу верхней панели и запишите значения входного и выходных напряжения в табл. 1.

5.4. Рассчитайте коэффициент усиления $K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$

5.5. Двойным щелчком «мыши» по осциллографу откройте его дисплей. рассмотрите осциллограмму. В настройках осциллографа установите **Time base 1 ms/div**, **Channel A 10 $\mu\text{mV/Div}$** , **Channel B 500 mV/Div**. Перечертите осциллограмму в отчет.

5.6. Для изучения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и фазочастотной характеристики (ФЧХ) полученного сигнала, в командной строке нажмите кнопку **Simulate**, в открывшемся меню выберите опцию – **Analysis – AC Analysis**. В открывшемся окне установите следующие параметры:

- начальная частота (**Start frequency**) – 1 Hz;
- конечная частота (**Stop frequency**) – 1 MHz

Далее нажмите кнопку **Simulate**. В появившемся окне внимательно рассмотрите графики и перечертите в отчет АЧХ и ФЧХ.

5.7. Откройте схему инвертирующего ОУ с ООС (инвертирующий ОУ с ООС.ms 10)

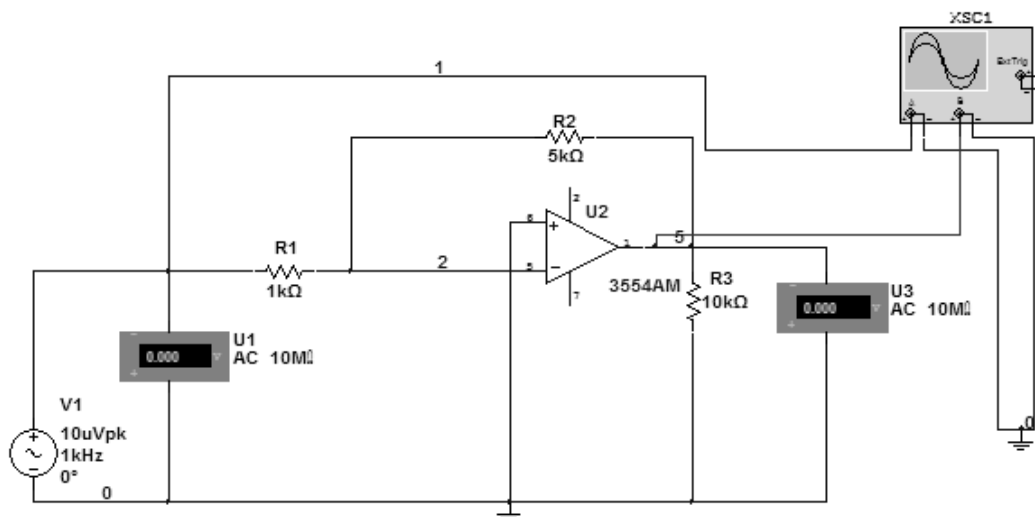


Рис. 4

5.8. Двойным щелчком левой кнопки «мыши» по генератору синусоидальных колебаний V1 открыть его настройки (**AC POWER**) и установить следующие параметры:

- напряжение (Voltage(V)) – $10 \mu\text{V}$;
- частоту (Frequency) – 1 kHz;
- фазу (Phase) – 0.

5.9 Включите схему, нажав кнопку «0-1» в верхнем правом углу верхней панели, и запишите значения входного и выходных напряжения в табл. 1.

5.10. Рассчитайте коэффициент усиления $K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$

5.11. Двойным щелчком «мыши» по осциллографу откройте его дисплей, рассмотрите осциллограмму. В настройках осциллографа установите **Time base 1 ms/div, Channel A 10 $\mu\text{mV/Div}$, Channel B 20 $\mu\text{mV/Div}$** . Перечертите осциллограмму в отчет.

5.12. Для изучения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и фазо-частотной характеристики (ФЧХ) полученного сигнала, в командной строке нажмите кнопку **Simulate**, в открывшемся меню выберите опцию – **Analysis – AC Analysis**. В открывшемся окне установите следующие параметры:

- начальная частота (**Start frequency**) – 1 kHz;
- конечная частота (**Stop frequency**) – 1 GHz

Далее нажмите кнопку **Simulate**. В появившемся окне внимательно рассмотрите графики и перечертите в отчет АЧХ и ФЧХ.

5.13. Поочередно открывая схемы:

1) неинвертирующего ОУ с ООС (неинвертирующий ОУ с ООС) (рис. 5)

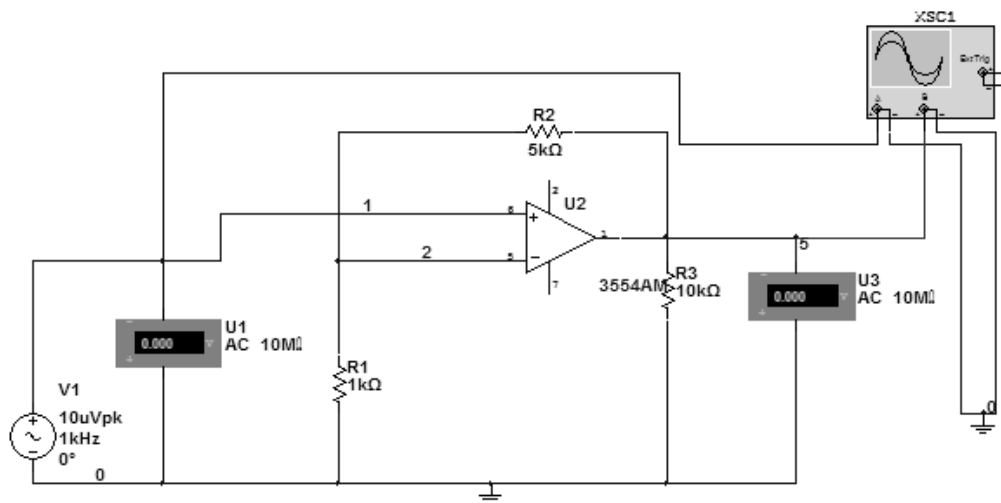


Рис. 5

2) инвертора (инвертор на ОУ с ООС) (рис. 6).

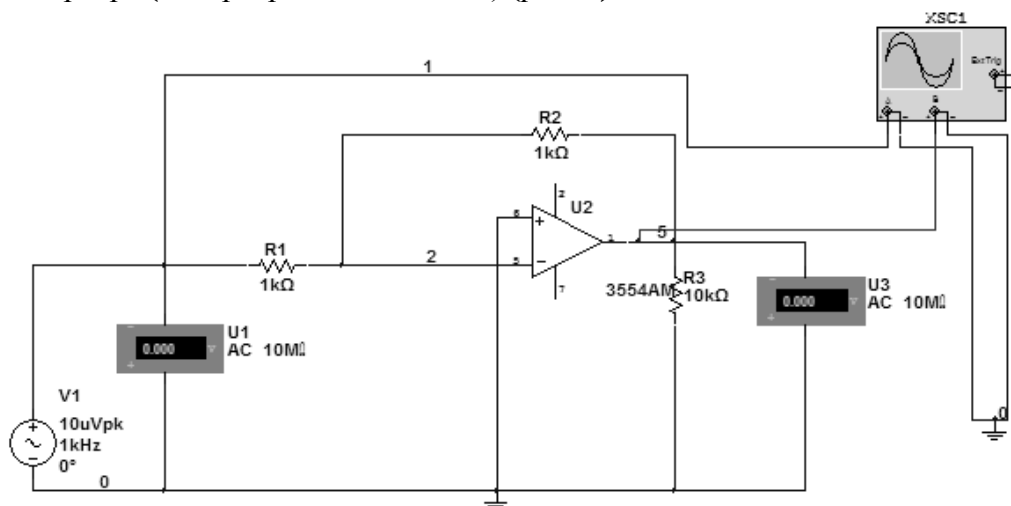


Рис.6

3) интегратора на ОУ (интегратор на ОУ с ООС) (рис. 7).

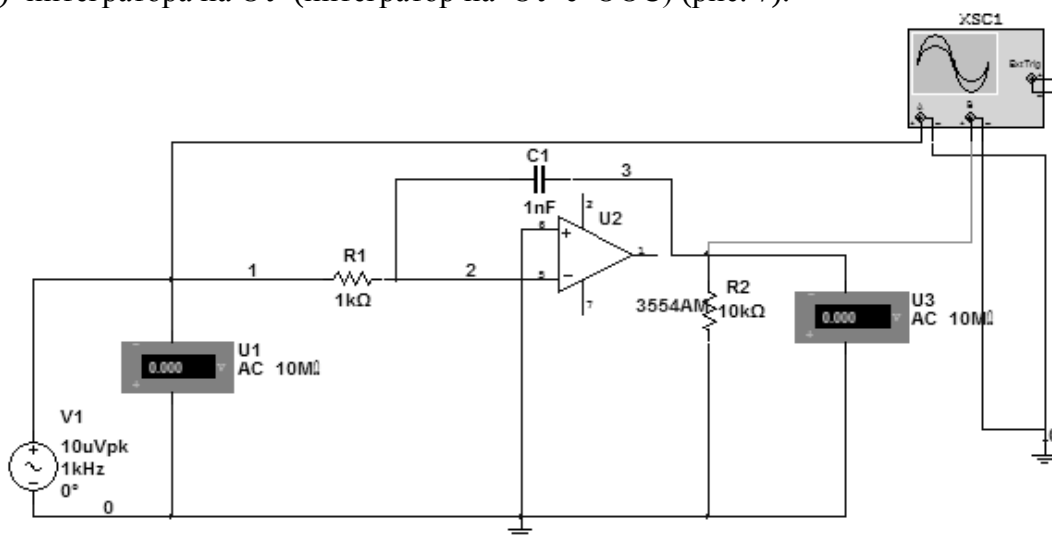


Рис. 7

4) Дифференциатора на ОУ (дифференциатор на ОУ с ООС) (рис. 8).

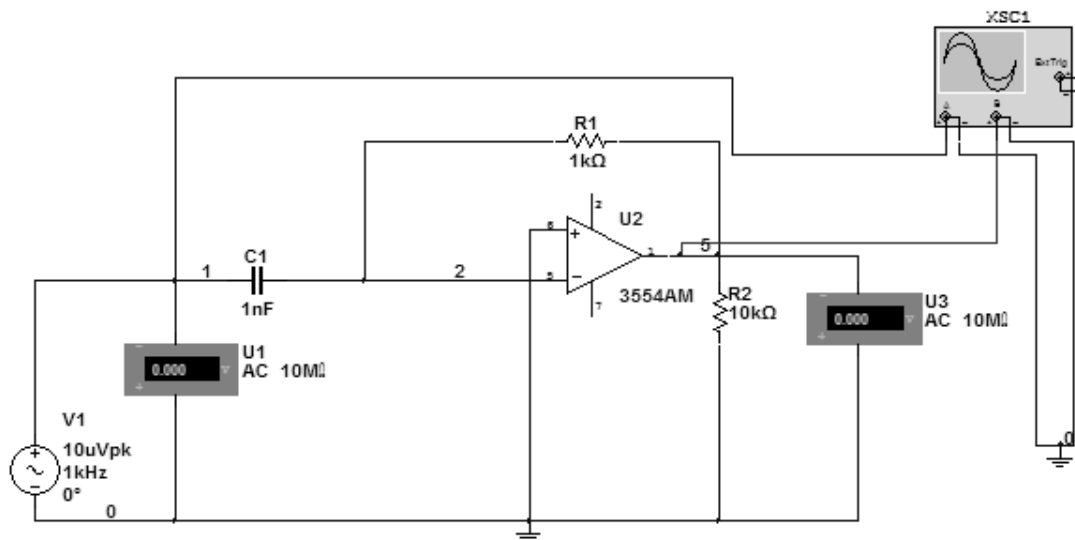


Рис. 8

5) сумматора на ОУ (сумматор на ОУ с ООС) (рис. 9).

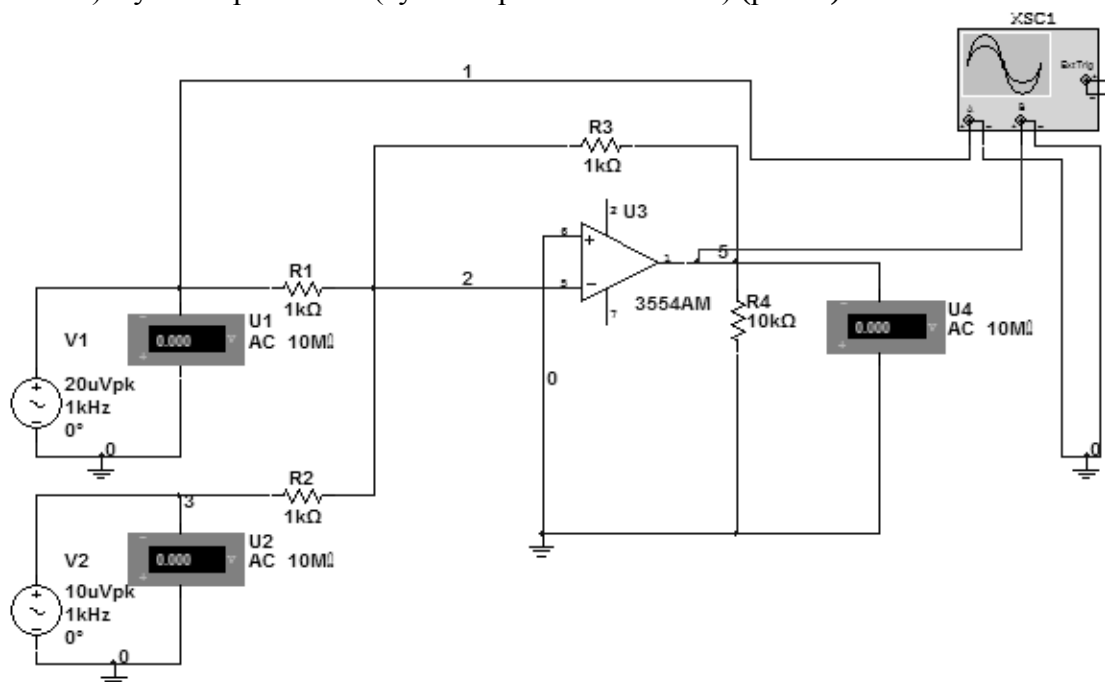


Рис. 9

Выполняйте п.п. 5.5- 5.9.

5.14. Для сумматора установите $U_{вх1}$ на первом генераторе синусоидальных колебаний – **$10 \mu V$** ; $U_{вх2}$ на втором генераторе синусоидальных колебаний – **$20 \mu V$** .

5.15. Рассчитайте $K_{расч}$ для каждой схемы соответственно:

- 1) для ОУ без ООС – $K_{расч} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$;
- 2) для инвертирующего ОУ с ООС – $K_{расч} = -\frac{R_{oc}}{R_1}$;
- 3) для неинвертирующего ОУ с ООС – $K_{расч} = 1 + \frac{R_{oc}}{R_1}$;

- 4) для инвертора – $K_{расч} = -\frac{R_{oc}}{R_1}$;
- 5) для интегратора – $K_{расч} = \frac{1}{2\pi fCR_1}$;
- 6) для дифференциатора – $K_{расч} =$
- 7) для сумматора – $K_{расч} = -\frac{U_{ВЫХ}}{\frac{R_{OC}}{R_1}U_{ВХ1} + \frac{R_{OC}}{R_2}U_{ВХ2}}$

Таблица 1

№	СХЕМА	$U_{ВХ}$ μV	$U_{ВЫХ}$ μV	K	$K_{расч}$
1	ОУ без ООС				
2	Инвертирующий ОУ с ООС				
3	Неинвертирующий ОУ с ООС				
4	Инвертор				
5	Интегратор				
6	Дифференциатор				
7	Сумматор				

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Какие усилители называются операционными?
- 6.2. Перечислите основные параметры ОУ.
- 6.3. Какое влияние оказывает отрицательная обратная связь на качество работы ОУ?
- 6.4. Для чего предназначен инвертирующий усилитель?
- 6.5. Какую функцию выполняет неинвертирующий усилитель?
- 6.6. Как осуществляется сложение двух или более входных сигналов. Какой усилитель позволяет осуществить эту операцию?
- 6.7. Поясните назначение и принцип действия интегратора на базе ОУ.
- 6.8. Поясните назначение и принцип действия дифференциатора на базе ОУ.

7. Содержание отчета: название работы, цель работы, приборы, используемые при измерениях, схемы измерений, таблица измерений, расчеты, осциллограммы, графики амплитудной характеристики (АЧХ, ФЧХ), выводы.

Список литературы

1. 1. Берикашвили В.Ш. Электронная техника: Учебник для СПО / В.Ш. Берикашвили.- М.: Академия, 2021.- 331с
2. Колтакова Т.И., Чернова О.А. Электронная техника. – Ростов на/Д: РКРИПТ, 2022.

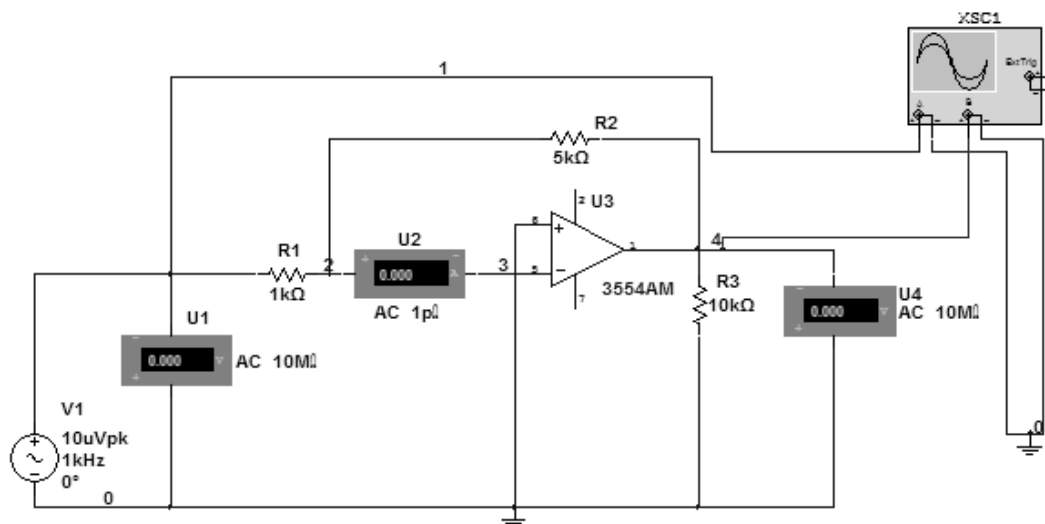
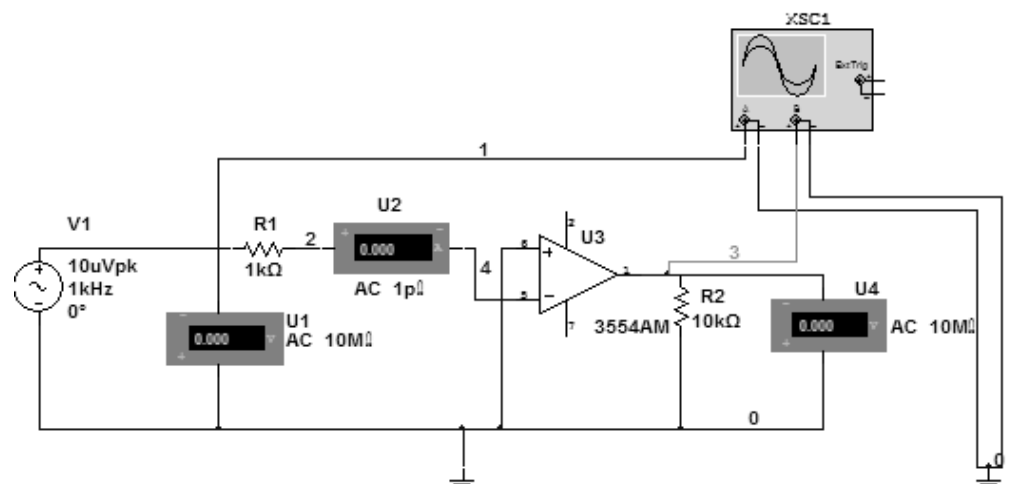
Группа	Лаборатория Электроники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № ____	Зачет
	«Исследование работы операционного усилителя»	

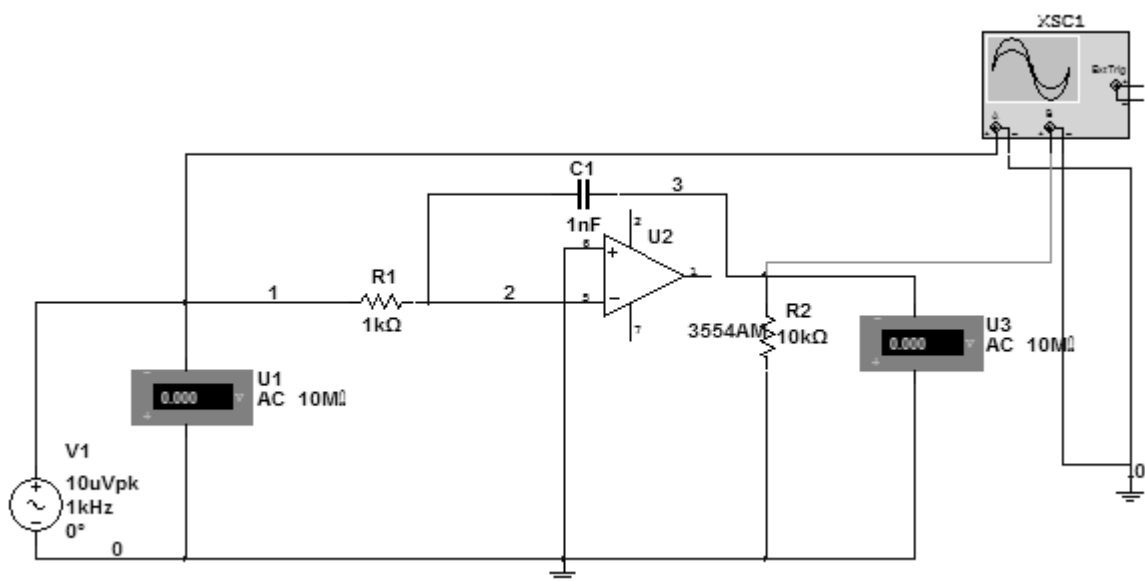
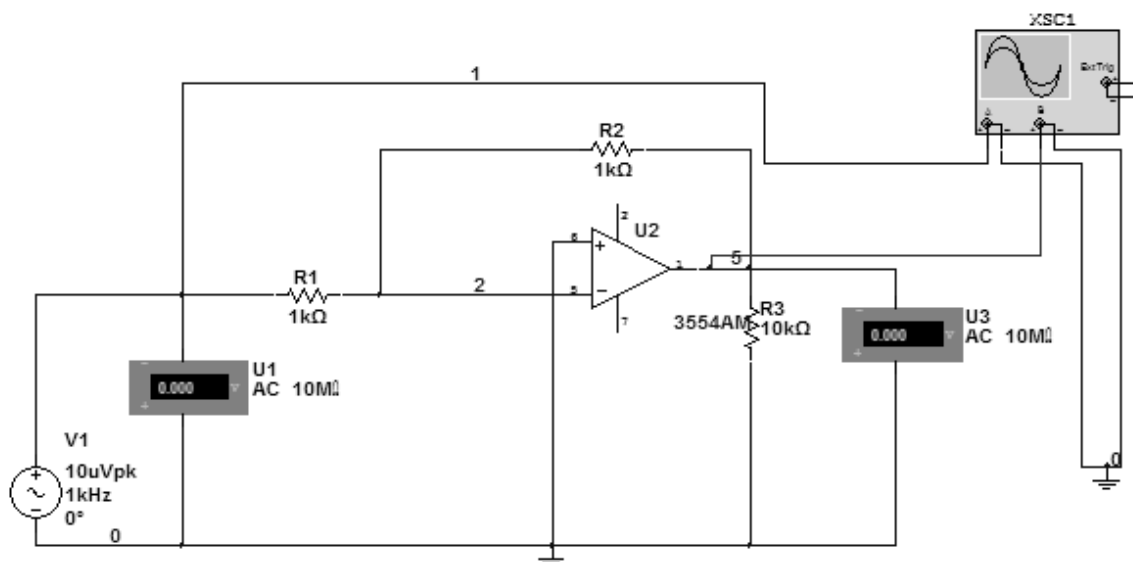
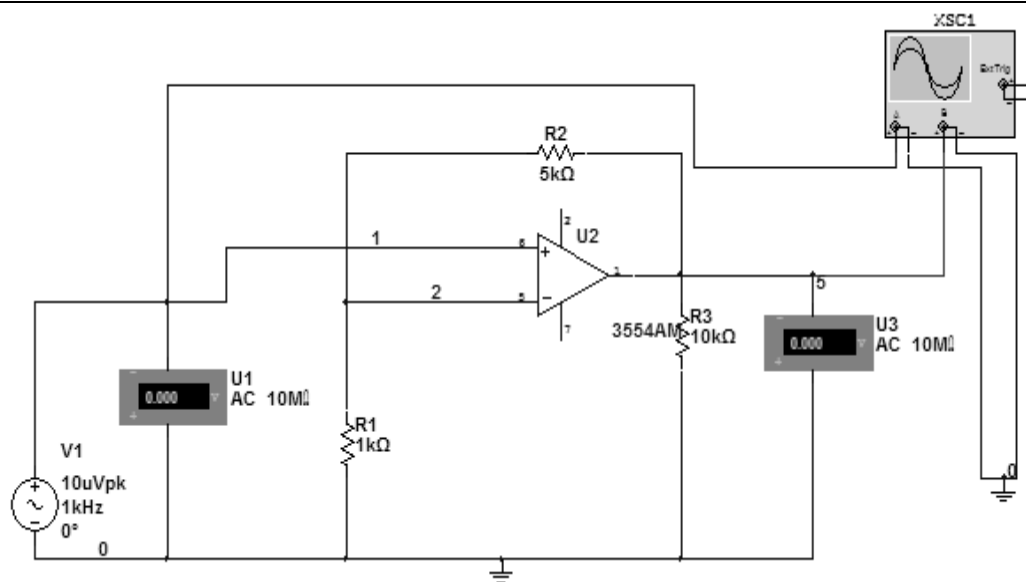
1. Цель занятия: исследование работы операционного усилителя в схемах с отрицательной обратной связью.

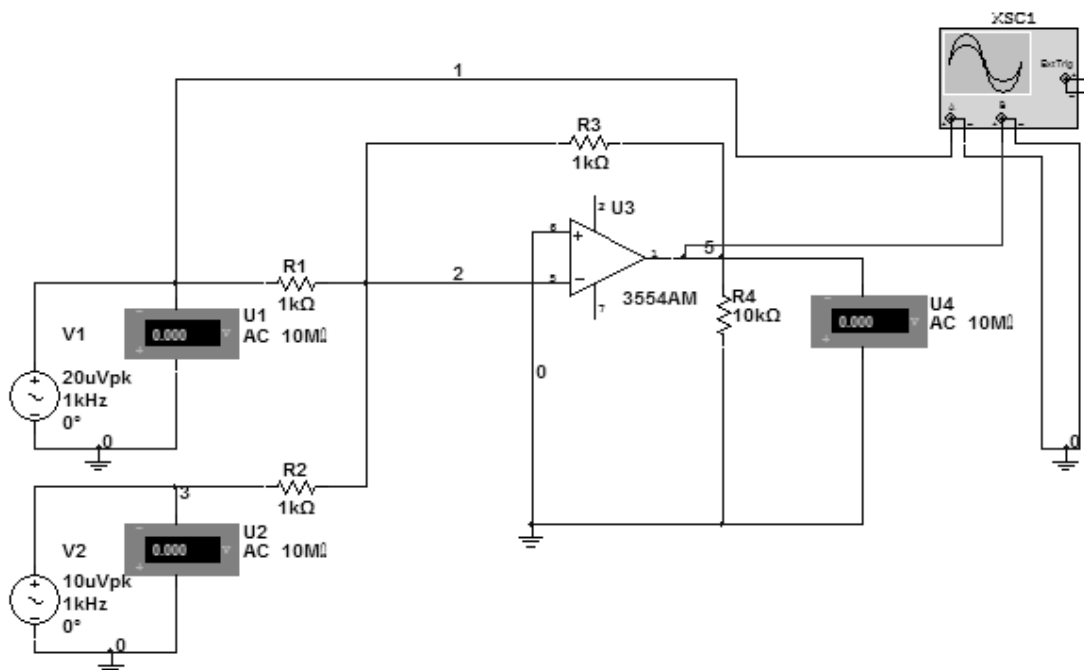
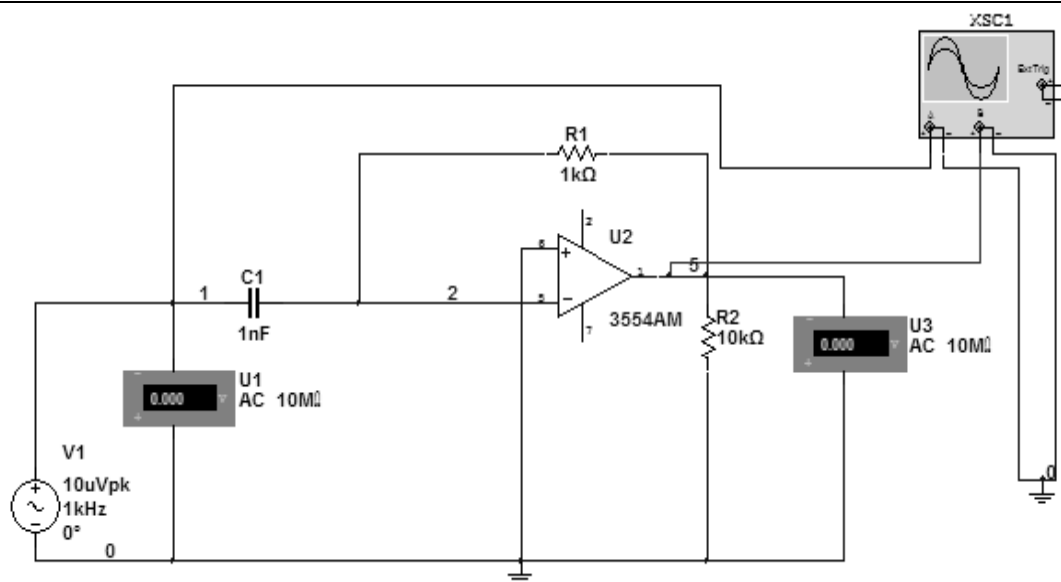
2. Перечень используемого оборудования:

- ПК. Программа Multisim

3. Схемы измерений





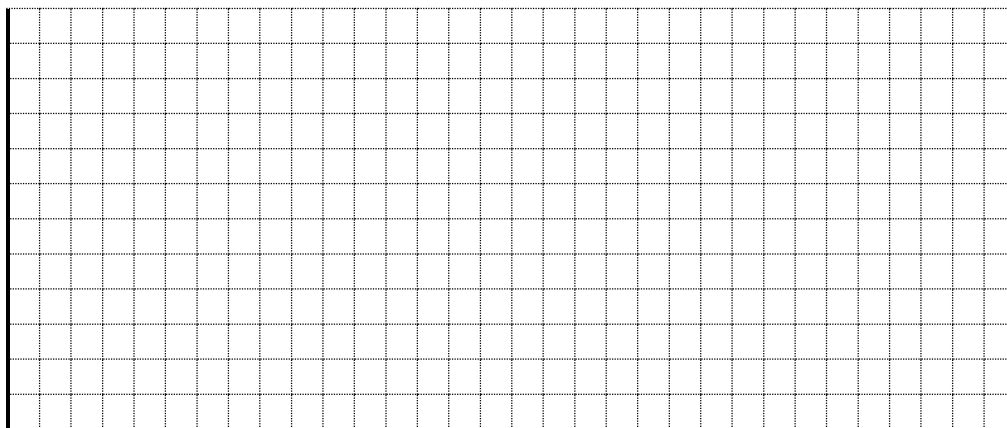


4. Результаты измерений

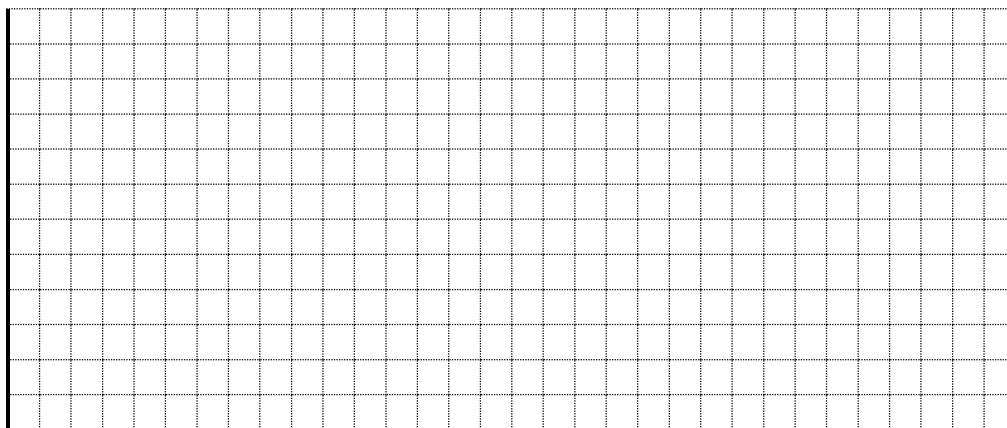
№	СХЕМА	$U_{\text{вх}}$ $\mu\text{V};$	$U_{\text{вых}}$ $\mu\text{V};$	K	$K_{\text{расч}}$
1	ОУ без ООС				
2	Инвертирующий ОУ с ООС				
3	неинвертирующий ОУ с ООС				
4	Инвертор				
5	Интегратор				
6	Дифференциатор				
7	Сумматор				

5. Амплитудно-частотные характеристики

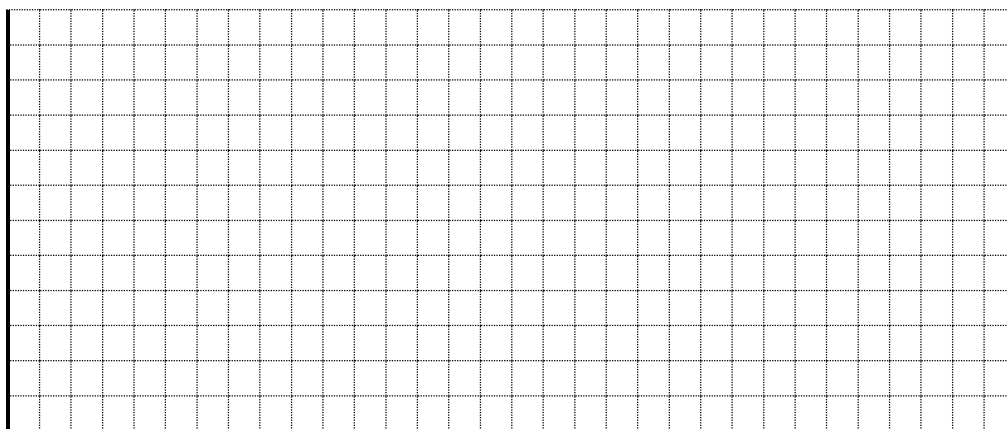
5.1. ОУ без ООС



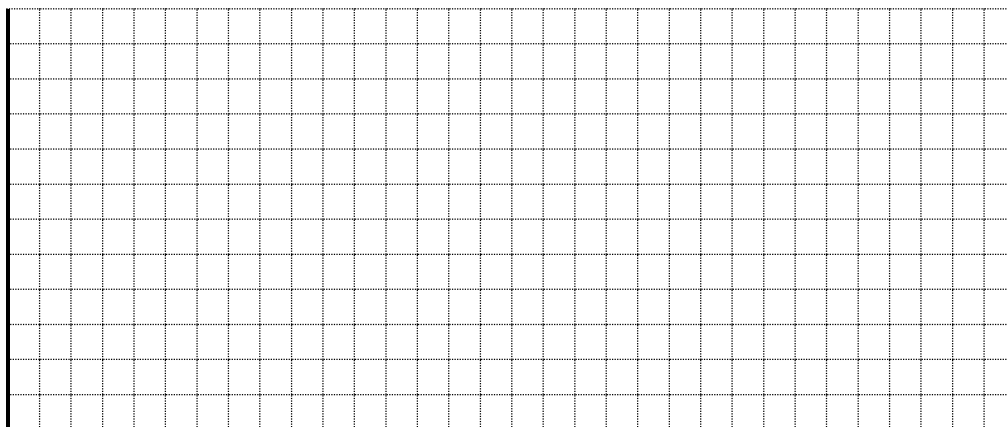
5.2. Инвертирующий ОУ с ООС



5.3. Инвертирующий ОУ с ООС

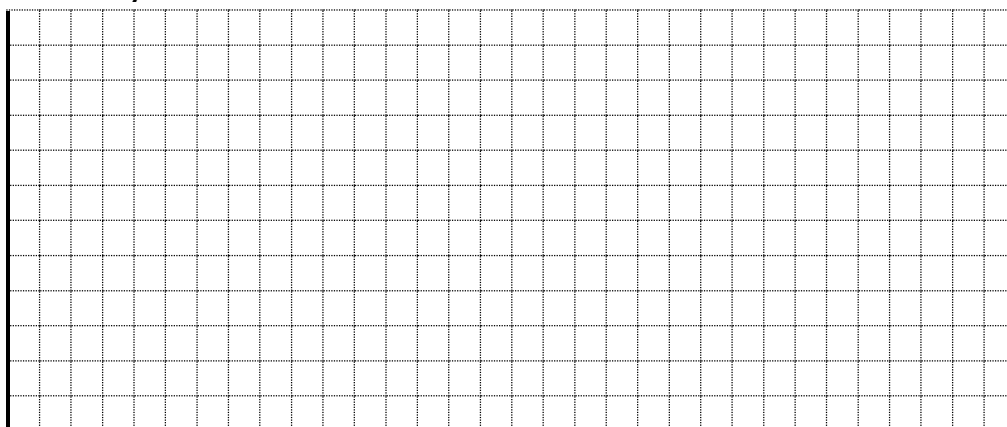


5.4. Инвертор

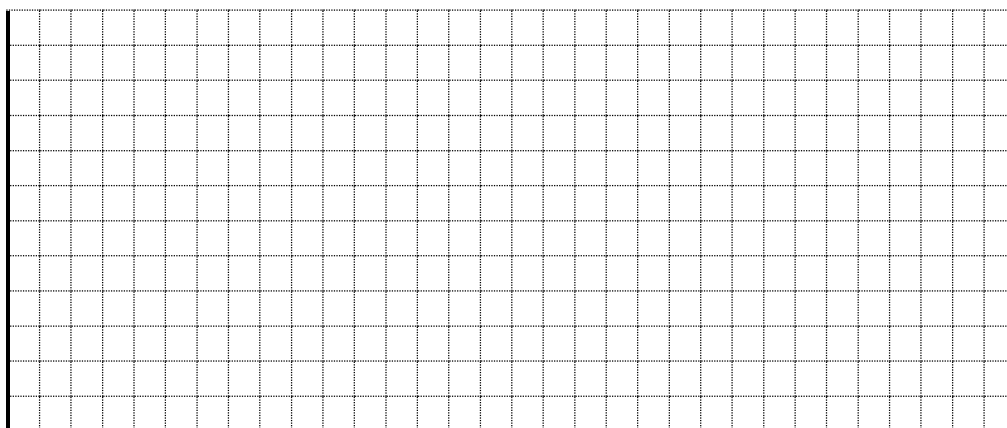


5.5. Интегратор

7



5.6. Дифференциатор



[illegible]This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

[illegible]

Учебное издание

Составители:
Колпакова Т. И.
Сивоконь В.Е.
Чернова О.А.

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

практикум

Формат 60x84 1/8. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 14.41. Тираж 130 экз.

Ростовский-на-Дону колледж радиоэлектроники,
информационных и промышленных технологий
г. Ростов-на-Дону, ул. Красноармейская, 11

Отпечатано: Ростовский-на-Дону колледж
радиоэлектроники, информационных и промышленных технологий