

*ПРИЛОЖЕНИЕ 2*  
*к рабочей программе*

**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 РАБОТ**

по дисциплине

**ОП.04 ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА**

для специальности

**11.02.17 Разработка электронных устройств и систем**

Квалификация выпускника:  
**техник**

**Составитель:**  
Самойлова Т.А.,  
преподаватель высш. квалиф. кат.  
ГБПОУ РО «РКРИПТ»

2024, г. Ростов-на-Дону

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Лабораторное занятие №1	
Исследование характеристик полупроводниковых диодов	5
Лабораторное занятие №2	
Исследование характеристик биполярного транзистора	11
Лабораторное занятие №3	
Исследование работы биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ	17
Лабораторное занятие №4	
Исследование характеристик полевого транзистора	23
Лабораторное занятие №5	
Исследование характеристик тиристора	31
Лабораторное занятие № 6	
Исследование работы инвертирующего и неинвертирующего усилителя	36
Лабораторное занятие № 7	
Исследование работы одно - и двухполупериодных выпрямителей	44
Лабораторное занятие № 8	
Исследование работы управляемых выпрямителей	52
Практическое занятие 1	
Сравнение ЦИМС различных серий по параметрам	56

## Введение

Лабораторные и практические занятия по учебной дисциплине ОП.04 «Электронная техника» составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки и направлены на подтверждение теоретических положений и формирование практических умений и практического опыта. Обучающимися осваиваются следующие умения

- определять и анализировать основные параметры электронных схем
- определять работоспособность устройств электронной техники;
- производить подбор элементов электронной аппаратуры по заданным параметрам;

Лабораторные и практические занятия относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами лабораторных и практических работ направлено:

- на обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;
- формирование умений применять полученные знания на практике;
- реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений (аналитических, проектировочных, конструкторских и др.) у будущих специалистов;
- 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.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности.

Содержанием лабораторных работ по дисциплине наблюдение развития явлений, и процессов. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с 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).

Содержанием практических занятий по дисциплине являются решение разного вида задач, в том числе профессиональных, выполнение вычислений, расчетов.

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

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных учебных лабораториях. Практическое занятие должно проводиться в учебных кабинетах или

специально оборудованных помещениях (площадках). 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 и практических работ предшествует проверка знаний студентов, их теоретической готовности к выполнению задания.

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

Формы организации работы обучающихся на лабораторных работах и практических занятиях: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу. 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 практической и лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практической, лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме доклада обучающегося по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

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

#### **Критерии оценки лабораторных, практических работ.**

**Оценка «5»** ставится, если учащийся выполняет работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений; самостоятельно и рационально монтирует необходимое оборудование; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; соблюдает требования правил безопасности труда; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ полученных результатов.

**Оценка «4»** ставится, если выполнены требования к оценке «5», но было допущено два - три недочета, не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.

**Оценка «3»** ставится, если работа выполнена в ходе проведения опыта и измерений были допущены грубые ошибки.

**Оценка «2»** ставится, если работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

**1.Цель работы:** Исследование вольтамперных характеристик (ВАХ) выпрямительного и импульсного полупроводниковых диодов

**2.Время выполнения работы – 4 час.**

#### **3.Краткие теоретические сведения**

Полупроводниковый прибор, который имеет один  $p-n$  переход и два электрода, называется диодом. **Выпрямительные диоды** предназначены для выпрямления переменного тока. Используются выпрямительные низкочастотные диоды в схемах выпрямителей вторичных источников питания

**Принцип действия** выпрямительного полупроводникового диода основан на свойстве  $p-n$  перехода пропускать ток только в одном направлении.

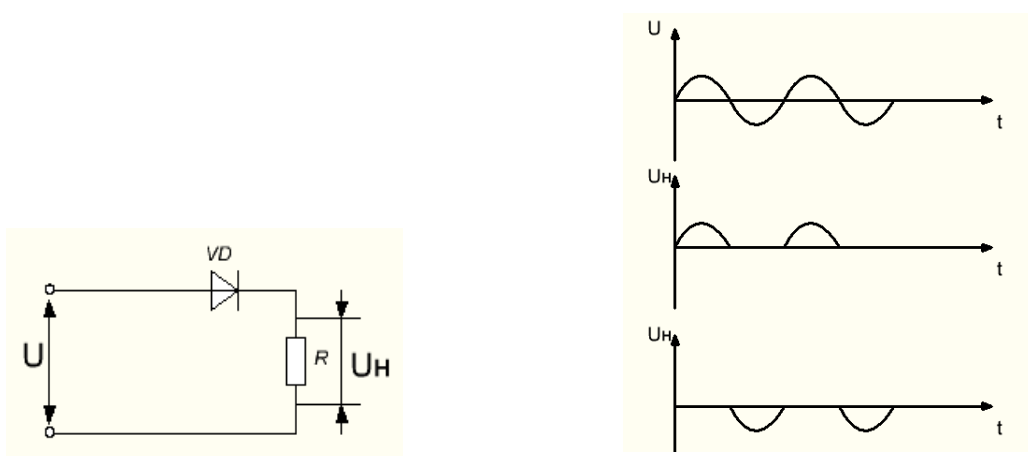


Рис.1. Схема включения выпрямительного диода и временная диаграмма работы в однополупериодном выпрямителе

В зависимости от частоты и формы выпрямляемого тока они делятся на низкочастотные, высокочастотные и импульсные. Выпрямительные полупроводниковые диоды изготавливаются, как правило, из кремния, германия или арсенида галлия.

В зависимости от конструкции выпрямительные полупроводниковые диоды делятся на плоскостные и точечные. Плоскостные диоды имеют большую площадь  $p-n$  перехода и используются для выпрямления больших токов (до 30 А). Точечные диоды имеют малую площадь  $p-n$ -перехода и, соответственно, предназначены для выпрямления малых токов (до 30 мА). Предназначенные для выпрямления больших токов выпрямительные полупроводниковые диоды большой мощности называют силовыми. Они позволяют выпрямлять токи силой вплоть до 30 А. Материалом для таких диодов обычно служит кремний или арсенид галлия, поскольку германий характеризуется сильной зависимостью обратного тока через  $p-n$ -переход от температуры.

Зависимость тока, проходящего через **p-n** переход, от величины и полярности приложенного к нему напряжения изображают в виде кривой, называемой **ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ (ВАХ)** диода.

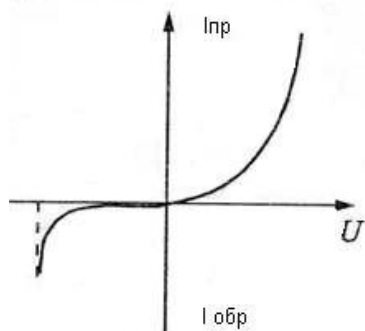


Рис.2. ВАХ выпрямительного диода

Вольт-амперная характеристика состоит из двух ветвей: **прямая ветвь**, в правой верхней части, соответствует прямому току через диод, и **обратная ветвь**, в левой нижней части, соответствующая обратному току через диод.

**Импульсные диоды.** Диоды, предназначенные для работы в импульсных режимах, называются импульсными. Такие диоды используют, например, в вычислительных устройствах (в ключевых, логических схемах и др.). В импульсных режимах через промежутки времени, равные единицам — долям микросекунды, диоды переключаются с прямого напряжения на обратное. При этом каждое новое состояние диода не может устанавливаться мгновенно, поэтому существенное значение здесь приобретают так называемые переходные процессы.

**Импульсные диоды** имеют малую длительность переходных процессов и используются для выпрямления сигналов с частотой до сотен мегагерц. Важным параметром импульсного диода является время восстановления его обратного сопротивления.

**Время восстановления обратного сопротивления  $t_{восст\ обр}$**  — время с момента переключения входного импульсного напряжения с прямого на обратное до достижения обратным током заданного значения.

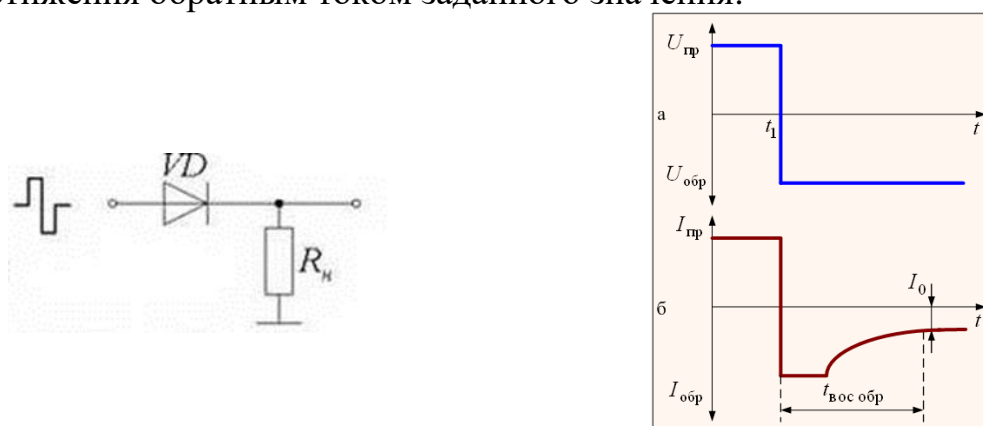


Рис.3. Схема включения и временная диаграмма работы импульсного диода

Под воздействием входного импульса положительной полярности через диод протекает прямой ток, основные носители движутся через открытый переход и временно накапливаются в соседних областях, образуя заряд диффузионной

емкости. Если полярность входного импульса меняется на противоположную, диод запирается не мгновенно. В первый момент времени наблюдается резкое увеличение обратного тока. С течением времени количество носителей уменьшается за счет рекомбинации и ухода во внешнюю цепь. Обратный ток  $I_{обр}$  постепенно уменьшается и достигает номинального значения.

Чем меньше  $t_{восст\ обр}$  тем выше быстродействие. Для его уменьшения применяются следующие конструктивно-технологические меры:

- выбор материала с малым временем жизни носителей
- уменьшение площади p-n перехода для снижения барьерной емкости, для чего импульсные диоды изготавливают в виде точечных структур.

По ВАХ диода определяются следующие параметры

- прямое и обратное статическое сопротивление диода при заданных прямом и обратном напряжениях:

$$R_{ст.пр} = \frac{U_{пр.}}{I_{пр.}}; R_{ст.обр} = \frac{U_{обр}}{I_{обр}}$$

- прямое и обратное динамическое сопротивление диода:

$$r_{диф} = \Delta U / \Delta I$$

Величина прямого сопротивления обычно лежит в пределах от единиц до сотен ом, а обратное сопротивление может принимать значения от единиц килоом до сотен мегаом.

#### 4. Перечень используемого оборудования:

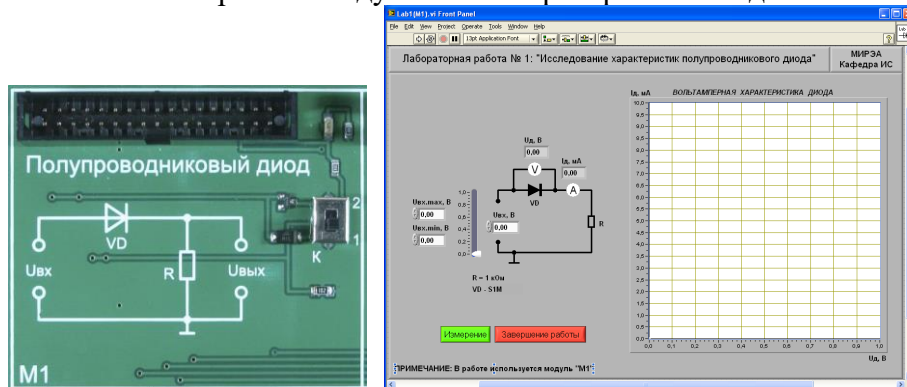
- платформа NI ELVIS II;
- исследуемые диоды.

**Задание:** Постройте вольтамперные характеристики выпрямительного и импульсного полупроводниковых диодов, проанализируйте их форму и сделайте вывод о величине дифференциального сопротивления диода и соответствии справочным данным

#### 5. Порядок выполнения работы

##### 5.1. Исследование вольтамперной характеристики выпрямительного диода

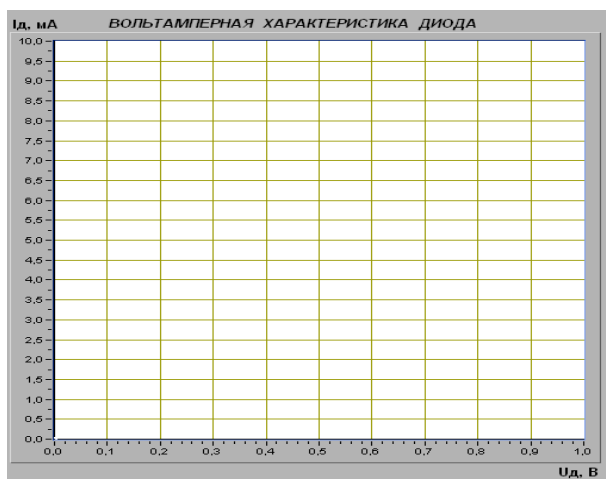
5.1.1. Установите ключ в разъем модуля M1 лабораторного стенда.



5.1.2. Загрузите и запустите программу Lab1(M1).vi.

5.1.3 .Установите переключатель «К» модуля M1 в положение «1». При этом к схеме будет подключен выпрямительный диод типа S1M.

5.1.4. Постройте прямую ветвь ВАХ выпрямительного диода. Для этого с помощью элементов управления ВП  $U_{вх. min}$  и  $U_{вх. max}$  выберите диапазон изменения напряжения на входе схемы (рекомендуемые пределы от 0 В до 10 В), после чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена ВАХ выпрямительного полупроводникового диода. Скопируйте полученную ВАХ в отчет.



5.1.5. Измерьте координаты точек полученной ВАХ. Для этого, изменяя напряжение на входе схемы с помощью ползункового регулятора, установите ток через диод примерно равным 5 мА, а затем примерно равным 8 мА.

5.1.6. Запишите в таблицу 1 отчета показания амперметра  $I_d$  и вольтметра  $U_d$  для этих точек ВАХ диода

табл. 1

$I_d$ , мА	$U_d$ , В	$R_{ст} = U_{пр}/I_{пр}$	$r_d = \Delta U / \Delta I$
5			
8			

5.1.7. Используя полученные в п.4.1.3 данные, вычислите статическое сопротивление диода в указанных точках по формуле  $R_{ст} = U_{пр}/I_{пр}$  и дифференциальное сопротивление диода на исследуемом участке ВАХ по формуле  $r_d = \Delta U / \Delta I$ . Результаты запишите в таблицу 1 отчета.

5.1.8. Повторите исследования, предусмотренные п.п.4.1.5 и 4.1.6 для точек ВАХ, соответствующих токам через диод 1 мА и 2 мА. Результаты запишите в таблицу 2 отчета.

табл. 2

$I_d$ , мА	$U_{пр}$ , В	$R_{прст} = U_{пр}/I_{пр}$	$r_d = \Delta U / \Delta I$
1			
2			

4.1.9. Постройте полную ВАХ диода, для чего установите пределы изменения напряжения на входе схемы от  $-10$  В до  $10$  В и нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». Скопируйте полученную ВАХ в отчет.

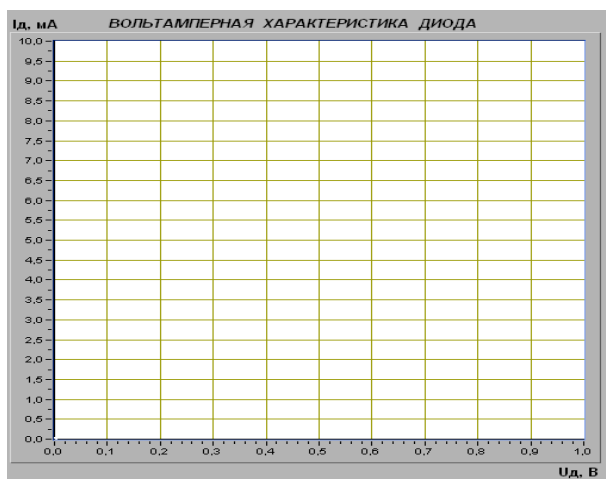
5.1.10. С помощью ползункового регулятора установите на входе схемы напряжение примерно равное  $-8$  В. Снимите показание амперметра  $I_{обр.}$ . Сделайте вывод о сопротивлении диода, смещенного в обратном направлении.

## 5.2. Исследование вольтамперной характеристики импульсного диода

5.2.1. Установите переключатель «К» модуля М1 в положение «2». При этом к схеме будет подключен импульсный диод типа ВАУ70.

5.2.3. Постройте полную ВАХ диода, для чего установите пределы изменения напряжения на входе схемы от  $-10$  В до  $10$  В и нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». Скопируйте полученную ВАХ в отчет.





5.2.4. Измерьте координаты точек полученной ВАХ. Для этого, изменяя напряжение на входе схемы с помощью ползункового регулятора, установите ток через диод примерно равным 5 мА, а затем примерно равным 8 мА, заполните таблицу 3, аналогично заполните таблицу 4 для токов 1 мА и 2 мА.

5.2.5. С помощью ползункового регулятора установите на входе схемы напряжение примерно равное  $-8$  В. Снимите показание амперметра  $I_{обр.}$ . Сделайте вывод о сопротивлении диода, смещенного в обратном направлении.

5.3. Заполните сводную таблицу по итогам проведенных исследований

Параметр	Диод S1M	Диод BAV70
$U_{пр} (I_d=1 \text{ ма})$		
$U_{пр} (I_d=2 \text{ ма})$		
$U_{пр} (I_d=5 \text{ ма})$		
$U_{пр} (I_d=8 \text{ ма})$		
$R_{прст} (I_d=1 \text{ ма})$		
$R_{прст} (I_d=2 \text{ ма})$		
$R_{прст} (I_d=5 \text{ ма})$		
$R_{прст} (I_d=8 \text{ ма})$		
$r_{диф} (I_d=1 \div 2 \text{ ма})$		
$r_{диф} (I_d=5 \div 8 \text{ ма})$		
$R_{обр} (U_{обр}=-8 \text{ В})$		

4.4. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

## 6. Указания к выполнению отчета

Отчет должен содержать:

- наименование и цель работы.
- перечень используемого оборудования
- схемы измерений
- таблицы измерения
- вольт-амперные характеристики диодов в одной системе координат
- расчеты сопротивления диодов на постоянном и переменном токе
- сводную таблицу по итогам проведенных исследований
- выводы по проведенным исследованиям
- ответы на контрольные вопросы.

## **7. Контрольные вопросы**

1. Какой электронный прибор называется полупроводниковым диодом?
2. Какое свойство р-п перехода используется в выпрямительных диодах?
3. Что такое ВАХ выпрямительного диода?
4. Какой интервал времени представляет собой время восстановления высокого обратного сопротивления?
5. Как влияет величина времени восстановления высокого обратного сопротивления на быстродействие диода?
6. Какие конструктивно-технологические меры применяют для уменьшения времени восстановления высокого обратного сопротивления в импульсных диодах?

## **8. Список литературы**

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.– М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

**1.Цель работы:** Исследование входной характеристики и семейства выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.

**2.Время выполнения работы – 2 час.**

### **3.Краткие теоретические сведения**

Транзистор — преобразовательный полупроводниковый прибор, пригодный для усиления мощности, имеющий три вывода — эмиттер, база, коллектор. Биполярный транзистор имеет два р-п перехода и основан на переносе неосновных носителей через базу. Биполярные транзисторы, как правило, изготавливаются из кремния, германия или арсенида галлия. По технологии изготовления биполярные транзисторы делятся на сплавные, диффузионные и эпитаксиальные.

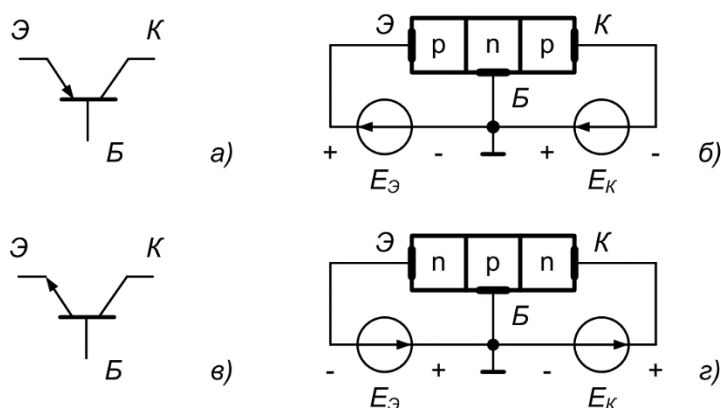


Рис. 1. Условные обозначения и устройство транзисторов р-п-р (а, б) и п-р-п (в, г) типов

В основном биполярные транзисторы применяются для построения схем усилителей, генераторов и преобразователей электрических сигналов в широком диапазоне частот (от постоянного тока до десятков гигагерц) и мощности (от десятков милливатт до сотен ватт). В соответствии с этим биполярные транзисторы делятся на группы по частоте (низкочастотные – не более 3 МГц; средней частоты – от 3 МГц до 30 МГц; высокочастотные – от 30 МГц до 300 МГц; сверхвысокочастотные – более 300 МГц) и по мощности (маломощные – не более 0,3 Вт; средней мощности – от 0,3 Вт до 1,5 Вт; большой мощности – более 1,5 Вт).

Известны три схемы включения транзистора — с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. Каждая схема имеет свои достоинства и недостатки. На рис.2 приведена схема включения биполярного транзистора *n-p-n* - типа с общим эмиттером. Для такой схемы справедливо следующее соотношение между токами:

$$I_э = I_Б + I_к,$$

где  $I_э, I_Б, I_к$  – сила тока в цепях эмиттера, базы и коллектора, соответственно. Это уравнение получило название основного уравнения транзистора

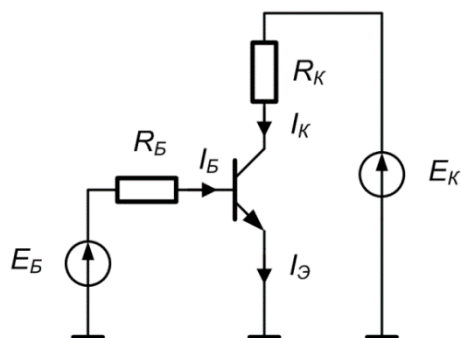


Рис. 2 Схема включения биполярного транзистора n-p-n - типа с общим эмиттером

Важнейшими характеристиками транзистора являются его входные и выходные вольтамперные характеристики. 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.

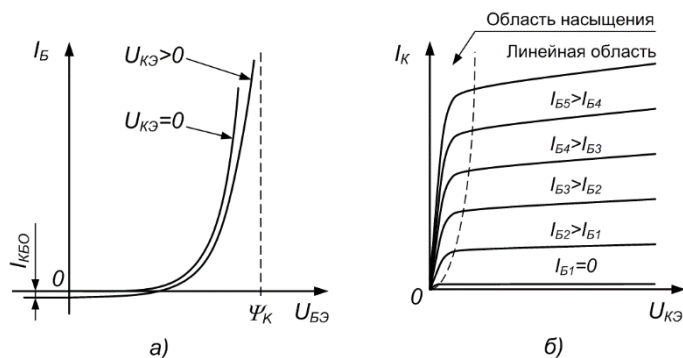


Рис.3. Входные (а) и выходные (б) статические ВАХ биполярного транзистора

**Входной статической характеристикой** биполярного транзистора называется зависимость входного тока от входного напряжения при постоянном значении выходного напряжения.

**Выходной статической характеристикой** биполярного транзистора называется зависимость выходного тока от выходного напряжения при постоянном значении входного тока.

В силу специфики входных и выходных ВАХ транзистора для его описания обычно выбирают в качестве независимых переменных входной ток ( $i_1$ ) и выходное напряжение ( $u_2$ ), а зависимыми являются: входное напряжение ( $u_1$ ) и выходной ток ( $i_2$ ). При таком выборе четырехполюсник описывается системой уравнений на основе h-параметров:



Рис.4. Транзистор, как активный четырехполюсник

**Физический смысл h-параметров** определяется как

$$h_{11} = \Delta U_{\text{вх}} / \Delta I_{\text{вх}} \text{ при } U_{\text{вых}} = \text{const} - \text{входное сопротивление.}$$

$h_{12} = \Delta U_{\text{ВХ}} / \Delta U_{\text{ВЫХ}}$  при  $I_{\text{ВХ}} = \text{const}$  - коэффициент внутренней обратной связи по напряжению;

$h_{21} = \Delta I_{\text{ВЫХ}} / \Delta I_{\text{ВХ}}$  при  $U_{\text{ВЫХ}} = \text{const}$  - коэффициент передачи транзистора по току;

$h_{22} = \Delta I_{\text{ВЫХ}} / \Delta U_{\text{ВЫХ}}$  при  $I_{\text{ВХ}} = \text{const}$  – выходная проводимость транзистора.

Для схемы с ОЭ:

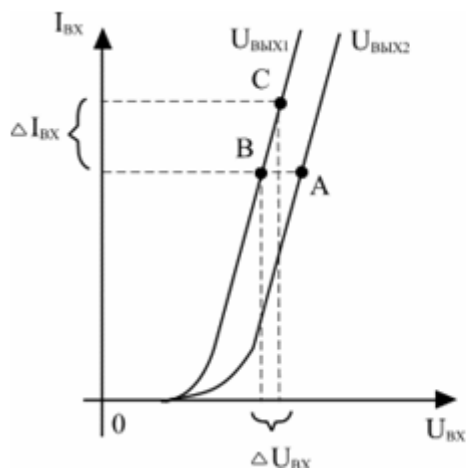
$$h_{11Э} = \Delta U_{\text{БЭ}} / \Delta I_{\text{Б}}$$

$$h_{12Э} = \Delta U_{\text{БЭ}} / \Delta U_{\text{КЭ}}$$

$$h_{21Э} = \beta = \Delta I_{\text{К}} / \Delta I_{\text{Б}}$$

$$h_{22Э} = G = \Delta I_{\text{К}} / \Delta U_{\text{КЭ}}$$

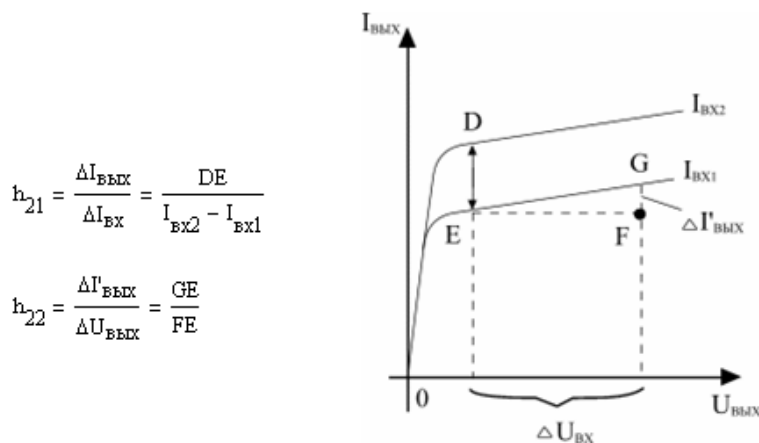
При практических расчетах значения этих параметров могут быть определены графоаналитическим методом по статическим входным и выходным ВАХ.



$$h_{11} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{\Delta I_{\text{ВХ}}} = \frac{AB}{AC}$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{AB}{U_{\text{ВЫХ}2} - U_{\text{ВЫХ}1}}$$

Рис.5. Определение параметров  $h_{11Э}$  и  $h_{12Э}$



$$h_{21} = \frac{\Delta I_{\text{ВЫХ}}}{\Delta I_{\text{ВХ}}} = \frac{DE}{I_{\text{ВХ}2} - I_{\text{ВХ}1}}$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I'_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{GE}{FE}$$

Рис.6. Определение параметров  $h_{21Э}$  и  $h_{22Э}$

#### 4.Перечень используемого оборудования:

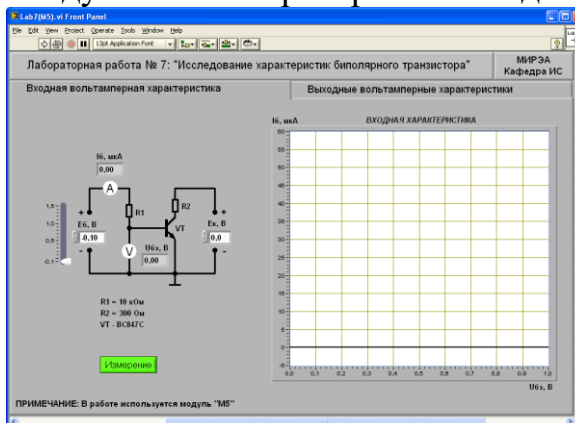
- лабораторная станция NI ELVIS II
- лабораторный модуль M5

**Задание:** Постройте статическую входную и семейство выходных статических характеристик биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, проанализируйте их форму, сделайте вывод о факторах,

влияющих на величину входного тока базы, выходного тока коллектора. По полученным характеристикам определите  $h$ -параметры транзистора

## 5. Порядок выполнения.

### 5.1. Установите ключ в разъем модуля М5 лабораторного стенда



5.2. Загрузите и запустите программу **Lab7(M5).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП. Установите переключатель «К» модуля М5 в положение «1». При запуске программы активной будет закладка «Входная вольтамперная характеристика»

*Получение входных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером*

5.3. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость входного тока  $I_B$  транзистора от входного напряжения  $U_{БЭ}$ .

5.4. Изменяя напряжение источника питания в цепи базы с помощью ползункового регулятора  $E_B$ , расположенного на лицевой панели ВП, наблюдайте показания амперметра в цепи базы и когда значение тока базы станет отличным от нуля, т.е. открывается переход база – эмиттер, зафиксируйте значение напряжения база-эмиттер  $U_{БЭ}$  и запишите в таблицу 1 отчета. Таким же образом устанавливайте значения тока базы последовательно равным 1мкА, 2, 5, 10, 15, 20, 40 мкА Для каждого значения тока фиксируйте показания вольтметра. Запишите в таблицу 1 отчета для этих точек входной характеристики

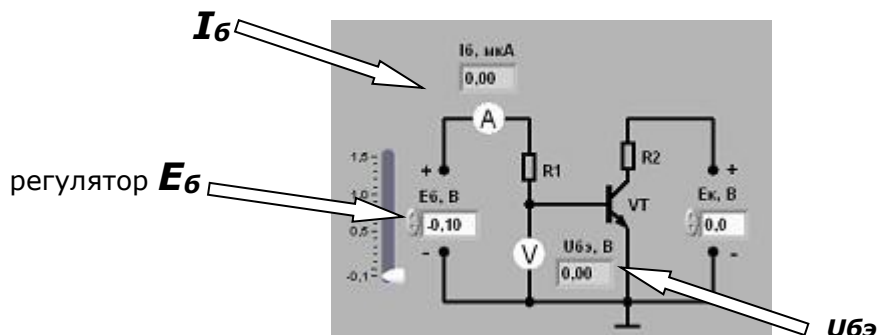
5.5. С помощью элемента управления  $E_K$  на лицевой панели ВП установите значение напряжения питания в цепи коллектора равным 5 В. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость входного тока  $I_B$  транзистора от входного напряжения  $U_{БЭ}$ . Повторите действия 5.4

табл. 1

$U_{KЭ} = 0V$		$U_{KЭ} = 5V$	
$I_B, \text{mkA}$	$U_{БЭ}, V$	$I_B, \text{mkA}$	$U_{БЭ}, V$

5.6. Используя уточненные данные тока и напряжения, перенесите входные характеристики транзистора при  $U_{КЭ} = 0V$  и  $U_{КЭ} = 5V$  в отчет. Выберите удобный масштаб по оси тока и по оси напряжения.

5.7. Определите h-параметры транзистора  $h_{11Э}$  и  $h_{12Э}$



### Получение семейства выходных характеристик биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

5.8. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку «Выходные вольтамперные характеристики». На экране появится соответствующее изображение ВП.

5.9. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». ВП произведет измерение зависимостей коллекторного тока  $I_K$  от напряжения коллектор-эмиттер  $U_{КЭ}$ . Измерения выполняются при фиксированных значениях напряжения источника питания в цепи базы  $E_B$ , которые представлены на лицевой панели ВП слева от схемы измерений в виде таблицы. На экране графического индикатора отображаются графики полученных зависимостей, а также соответствующие им значения тока базы  $I_B$  в виде таблицы справа от графика.

5.10. Для заданных преподавателем выходных характеристик определите значение тока коллектора  $I_K$ , соответствующее напряжению  $U_{КЭ} = 5V$ . Для этого с помощью ползункового регулятора «X» установите вертикальную линию курсора напротив деления «5 В» горизонтальной оси графика. Затем, поочередно совмещая горизонтальную линию курсора с точками пересечения вертикальной линии курсора с выходными характеристиками, определите соответствующие значения коллекторного тока по цифровому индикатору ползункового регулятора «Y». Полученные результаты запишите таблицу 2 отчета. Таким же образом определите значения тока коллектора для  $U_{КЭ} = 1V, 2V, 3V$  и  $4V$ . Результат занесите в табл.2 отчета.

табл.2

$U_{КЭ}, V$	$I_K, mA$		
	$I_B =$	$I_B =$	$I_B =$
0			
1			
2			
3			
4			
5			

5.11. Используя уточненные данные тока и напряжения, перенесите выходные характеристики в отчет. Выберите удобный масштаб по оси напряжения и по оси тока.

5.12. Определите h-параметры транзистора  $h_{21Э}$  и  $h_{22Э}$

5.18. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

#### **6. Указания к выполнению отчета**

Отчет должен содержать:

- наименование и цель работы.
- перечень используемого оборудования
- схемы измерений
- таблицы измерения
- входные и выходные характеристики транзистора
- h-параметры транзистора
- выводы по проведенным исследованиям
- ответы на контрольные вопросы.

#### **7. Контрольные вопросы**

1. Что называется статической входной характеристикой транзистора?
2. Что называется статической выходной характеристикой транзистора?
3. Запишите основное уравнение транзистора.
4. В чем заключается физический смысл  $h_{11Э}$ ,  $h_{12Э}$ ,  $h_{21Э}$ ,  $h_{22Э}$

#### **8.Список литературы**

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.– М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3  
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА,  
ВКЛЮЧЕННОГО ПО СХЕМЕ С ОЭ

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

**2.Время выполнения работы – 4 час.**

**3.Краткие теоретические сведения**

Биполярные транзисторы чаще всего используются в усилительных каскадах. При работе транзистора в схеме усилителя в его входной цепи действует источник напряжения  $U_{вх}$ , подлежащего усилению, а в выходную цепь включается сопротивление нагрузки  $R_n$ . Такой режим называется **динамическим** или рабочим. Токи и напряжения на электродах транзистора непрерывно меняются, поэтому характеристики и параметры транзистора, работающего в динамическом режиме, отличаются от соответствующих характеристик в статическом режиме.

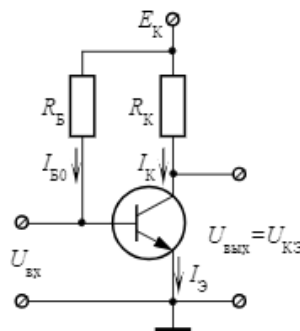


Рис. 1. Транзисторный каскад с общим эмиттером

В схеме на рис 1 напряжение источника питания  $E_K$  непрерывно распределяется между выходными электродами транзистора и нагрузочным сопротивлением и в соответствии с уравнением

$$E_K = U_{кэ} + I_K \cdot R_K$$

Это выражение представляет собой **уравнение динамического режима транзистора для выходной цепи.**

**Выходная динамическая характеристика** это геометрическое место точек пересечения нагрузочной прямой с выходными статическими характеристиками. Нагрузочная прямая строится по уравнению динамического режима.

$$U_{кэ} = E_K - I_K \cdot R_K$$

Находим по этому уравнению две точки пересечения с осями:

точку пересечения с осью напряжения  **$B$**  ( $I_K=0, U_{кэ}=E_K$ ) и

точку пересечения с осью коллекторного тока:  **$A$**  ( $U_{кэ}=0, I_K=E_K/R_K$ )

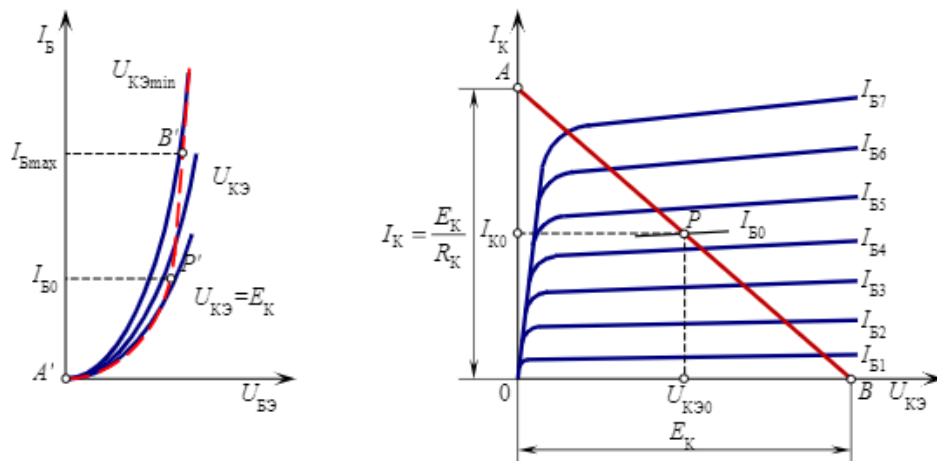


Рис. 2. Построение динамических характеристик транзистора

Чтобы построить входную динамическую характеристику, нужно для каждого напряжения на коллекторе, для которого имеется статическая входная характеристика, определить по выходной динамической характеристике ток базы. Затем на входных статических характеристиках следует отметить точки, которые соответствуют найденным значениям токов базы ( $A'P'B'$ ) на рисунке 2. Соединив эти линии плавной кривой (штрихпунктирная красная линия) получим входную динамическую характеристику транзистора.

Каждая точка пересечения нагрузочной прямой с одной из ветвей выходной статической характеристики для заданного тока базы называется **рабочей точкой** транзистора. Она позволяет определять токи и напряжения, действующие в схеме в настоящий момент времени. Рабочая точка транзисторного каскада в статическом режиме (режиме по постоянному току) называется **точкой покоя**. Это точка динамической характеристики, которая определяет напряжение на транзисторе и ток, протекающий через него, в отсутствии входного сигнала.

Точка покоя характеризуется 4-мя величинами:

$U_{к0}$ ,  $I_{к0}$  и  $I_{б0}$  - определяют по выходной динамической характеристике;

$U_{б0}$  - определяют по входной динамической характеристике

Задание режим работы по постоянному току начинается с выбора положения точки покоя на характеристиках транзистора и в основном определяется назначением схемы. Так, для получения на выходе сигнала с наименьшими искажениями формы выходного сигнала точку покоя выбирают посередине выходной динамической характеристики (так называемый режим А).

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

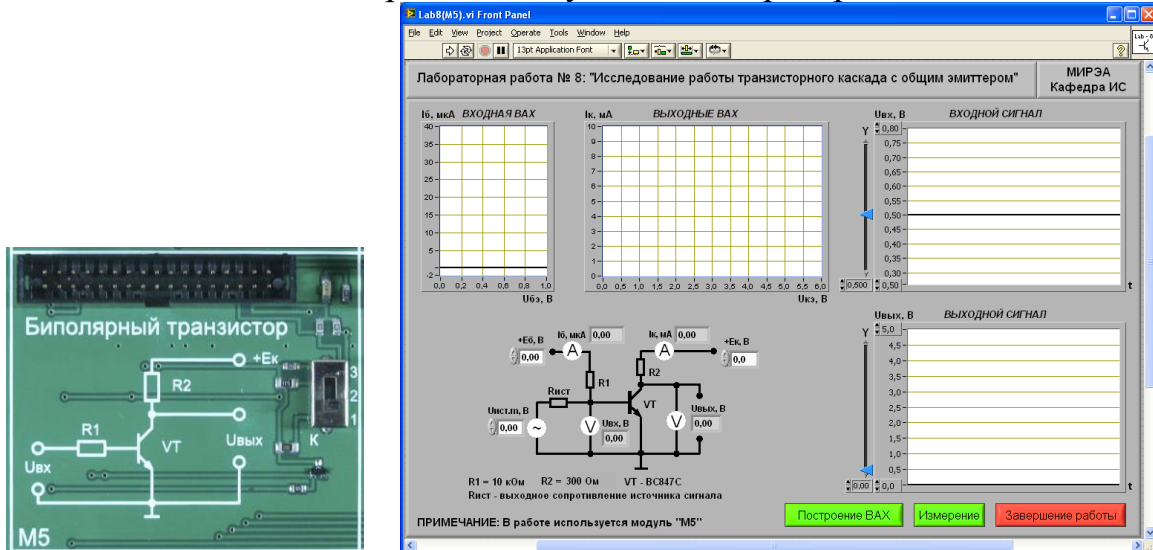
#### 4. Перечень используемого оборудования:

- платформа NI ELVIS II;
- лабораторный модуль М5.

**Задание:** Проведите исследования работы транзисторного каскада в различных режимах и на основании этих исследований сделайте вывод о том, как влияет положение рабочей точки на форму выходного сигнала и коэффициент усиления транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

## 5. Порядок выполнения работы

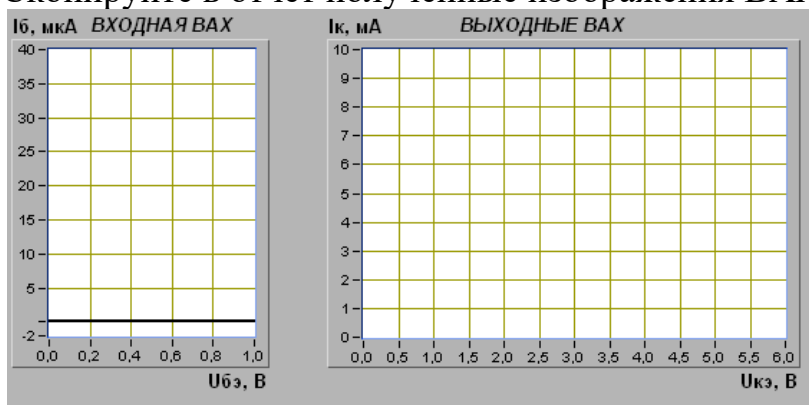
### 5.1. Установите ключ в разъем модуля М5 лабораторного стенда



5.2. Загрузите и запустите программу Lab8(M5).vi. На экране появится изображение лицевой панели.

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

5.4. Для построения статических вольтамперных 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.



5.5. Для построения нагрузочной прямой установите амплитуду напряжения источника входного сигнала  $U_{ист.т} = 0$ , и величину напряжения источника питания в цепи коллектора  $E_K = 5 В$ . Нажмите кнопку «Измерение». На графике выходных характеристик транзистора будет построена нагрузочная прямая. Нанесите ее на изображение выходных статических характеристик в отчете.

5.6. Выберите положения точки покоя транзистора на графическом индикаторе. Для этого 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 (см. рис.1) определите и занесите в первую строку табл. 1 параметры статического

режима (координаты точки покоя) транзисторного каскада с общим эмиттером для  $R_2=300 \text{ Ом}$ .

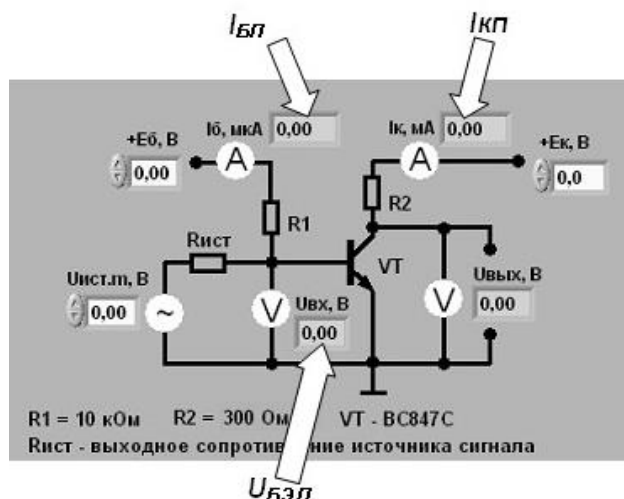


Рис.1 Определение параметров точки покоя транзисторного каскада с общим эмиттером по цифровым индикаторам

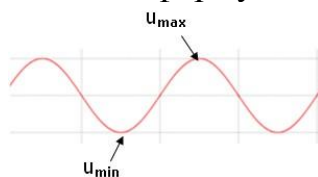
табл. 1

	$I_{бп}, \text{мкА}$	$U_{бэп}, \text{В}$	$I_{кп}, \text{мА}$	$U_{кп}, \text{В}$
$R=300 \text{ Ом}$				

5.7. Постепенно увеличивая амплитуду напряжения источника входного сигнала  $U_{ист.п.}$ , 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.

5.8. 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 (20 ÷ 50)% от величины  $I_B$ , полученной в п. 4.6, 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.

5.9. Измерьте амплитуды входного  $U_{вх.п.}$  и выходного  $U_{вых.п.}$  сигналов. Для этого по соответствующей осциллограмме вначале для входного, затем для выходного сигналов, 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:  $U_m = (u_{max} - u_{min}) / 2$ .



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

5.10. Используя полученные в п.4.8. значения амплитуд входного и выходного сигналов, определите коэффициент усиления транзисторного каскада по формуле:  $K_u = U_{вых.п.} / U_{вх.п.}$ . Результат занесите в первый столбец таблицы 2.

табл.2

	R2=300 Ом	R2=510 Ом	R2=1 кОм
$U_{\text{ВЫХ.м}}, \text{В}$ $(u_{\text{ВЫХ.маx}} - u_{\text{ВЫХ.миn}}) / 2$			
$U_{\text{ВХ.м}}, \text{В}$ $(u_{\text{ВХ.маx}} - u_{\text{ВХ.миn}}) / 2$			
$K_y = U_{\text{ВЫХ.м}} / U_{\text{ВХ.м}}$			

5.11. Установите переключатель «К» модуля **M5** в положение «2». Амплитуду напряжения источника входного сигнала установите равной нулю  $U_{\text{ист.т}} = 0$ . По цифровым индикаторам лицевой панели ВП (см. рис.1) определите и занесите во вторую строку табл. 1 параметры статического режима (координаты точки покоя) транзисторного каскада с общим эмиттером для R2=510 Ом. Аналогично определите и занесите в табл. 1 координаты точки покоя для R2= 1000 Ом (переключатель К на макете в положение 3).

табл. 1

	I <sub>бП</sub> , мкА	U <sub>бэП</sub> , В	I <sub>кП</sub> , мА	U <sub>кП</sub> , В
R=300 Ом				
R=510 Ом				
R=1кОм				

5.12. Проведите измерения и вычисления коэффициента усиления по п.4.8-4.9 для R=510 и 1000 Ом, устанавливая переключатель К на макете в положение 2 и 3. Занесите результаты в таблицу 2 отчета

табл.2

	R2=300 Ом	R2=510 Ом	R2=1 кОм
$U_{\text{ВЫХ.м}}, \text{В}$ $(u_{\text{ВЫХ.маx}} - u_{\text{ВЫХ.миn}}) / 2$			
$U_{\text{ВХ.м}}, \text{В}$ $(u_{\text{ВХ.маx}} - u_{\text{ВХ.миn}}) / 2$			
$K_y = U_{\text{ВЫХ.м}} / U_{\text{ВХ.м}}$			

5.13. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

## 6. Указания к выполнению отчета

Отчет должен содержать:

- наименование и цель работы.
- перечень используемого оборудования
- схемы измерений
- таблицы измерений
- осциллограммы напряжений
- результаты вычислений
- выводы по проведенным исследованиям
- ответы на контрольные вопросы.

## **7. Контрольные вопросы**

1. Что называется выходной динамической характеристикой?
2. Приведите уравнение динамического режима транзистора для выходной цепи транзистора по схеме с ОЭ.
3. Что называется рабочей точкой транзистора?
4. Что такое точка покоя транзистора? Перечислите величины, которые характеризуют ее положение.
5. Какой режим работы транзистора называется динамическим?

## **8. Список литературы**

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.— М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

**1.Цель работы:** Исследование статических характеристик и зависимости сопротивления канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток в схеме с общим истоком

**2.Время выполнения работы –2час.**

### 3.Краткие теоретические сведения

Униполярный или полевой транзистором называют полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемым электрическим полем

Электроды, подключенные к каналу, называются *стоком (C)* и *истоком (И)*, а управляющий электрод называется *затвором (З)*. Напряжение управления, которое создает поле в канале, прикладывается между затвором и истоком. Униполярные транзисторы делятся на две группы: с изолированным затвором и с управляющим *p-n*-переходом. Проводимость канала может быть электронной или дырочной. Если канал имеет электронную проводимость, то он называется *n*-каналом. Каналы с дырочной проводимостью называются *p*-каналами. Таким образом полевые транзисторы могут быть с каналом *n*- или *p*-типа.

**Транзистор с управляющим *p-n*-переходом** это полевой транзистор, затвор которого отделен от канала запертым *p-n* переходом

Устройство полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом показано на рис. 1.

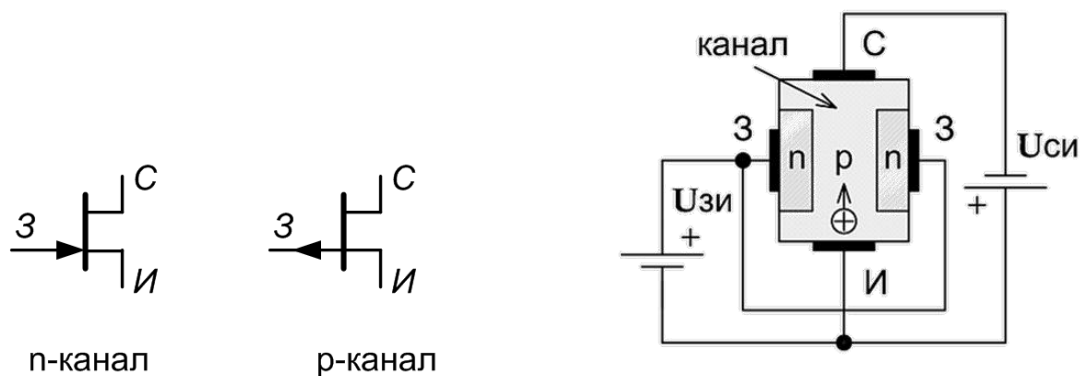


Рис.1. Условное графическое обозначение и устройство полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом

Затвор отделен от истока, стока и канала запертым *p-n* переходом. Увеличение обратного напряжения на затворе приводит к увеличению сопротивления канала, и, следовательно, к уменьшению выходного тока стока. Входное сопротивление полевого транзистора велико, т.к. управляющий *p-n*-переход включается в обратном направлении. Поэтому в цепи затвора протекает небольшой ток затвора  $I_z$ . Большое входное сопротивление полевых транзисторов является их существенным преимуществом по сравнению с биполярными транзисторами.

Основными характеристиками полевых транзисторов являются статические характеристики:

**Стокзатворная** – зависимость тока стока от напряжения на затворе, при постоянном напряжении на стоке –  $I_c=f(U_{зи})$ , при  $U_{си}=const$

**Стоковая** – зависимость тока стока от напряжения на стоке, при постоянном напряжении на затворе  $I_c=f(U_{си})$ , при  $U_z=const$

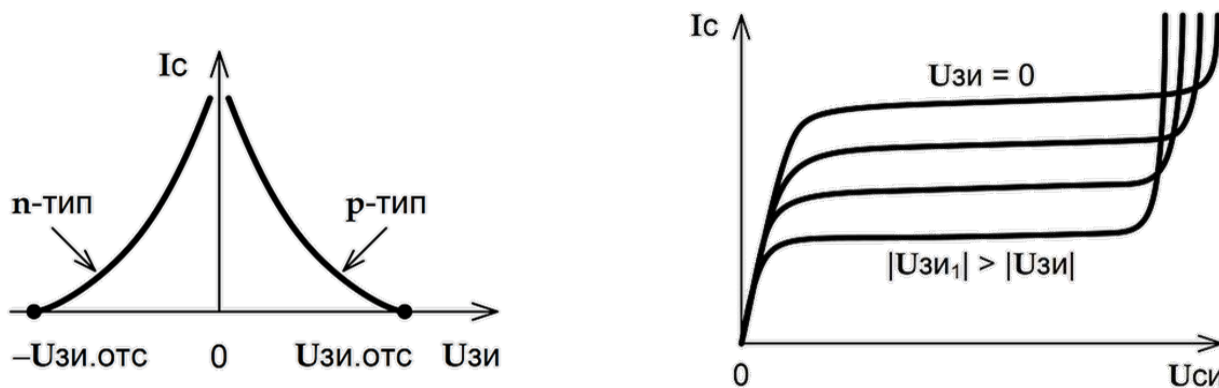


Рис.2. Статические характеристики полевого транзистора с управляющим p-n-переходом

**Полевой транзистора с изолированным затвором** это полевой транзистор, затвор которого электрически изолирован от полупроводникового канала слоем диэлектрика.

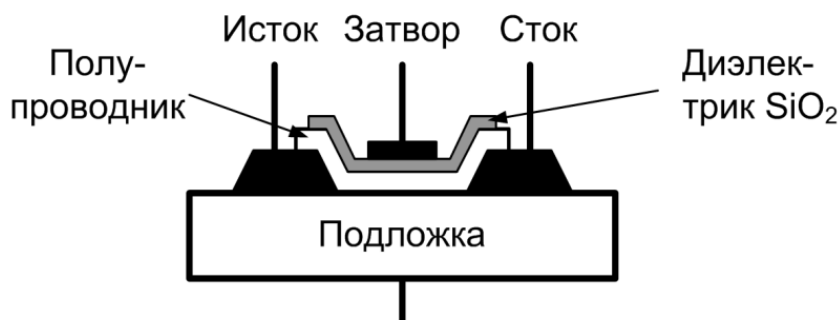


Рис.3. Устройство полевого транзистора с изолированным затвором

В качестве диэлектрика используют двуокись кремния  $SiO_2$ . Поэтому полевой транзистор с такой структурой называют МОП-транзистором (металл-окисел-полупроводник) или МДП (металл, диэлектрик, полупроводник). Электроды стока и истока располагаются по обе стороны затвора и имеют контакт с полупроводниковым каналом. Транзисторы с изолированным затвором бывают двух типов: со встроенным каналом и с индуцированным каналом

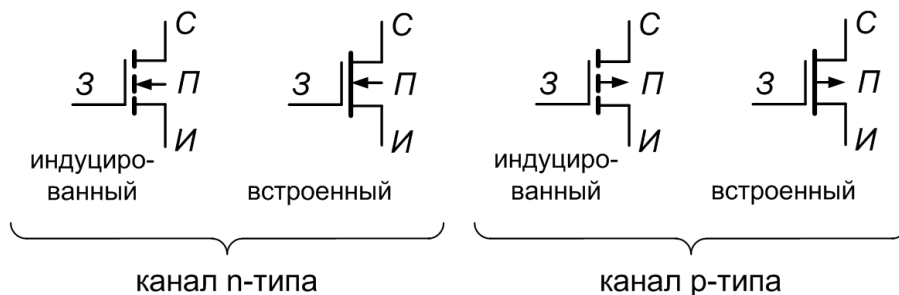


Рис. 4. Условное графическое изображение полевых транзисторов с изолированным затвором

МОП – транзисторы со встроенным каналом могут работать как в режиме обогащения, так и в режиме обеднения зарядов.



Работа транзистора с каналом n-типа:

**в режиме обогащения:** при подаче на затвор положительного напряжения электроны из областей стока и истока и будут притягиваться в канал; канал обогатится носителями заряда, и ток стока увеличится.

**в режиме обеднения:** при подаче на затвор отрицательного напряжения электроны из канала будут выталкиваться из канала, и вследствие обеднения канала носителями зарядов, ток стока уменьшится.

МОП-транзистор с индуцированным каналом отличается тем, что у него нет встроенного канала между областями истока и стока. При нулевом напряжении  $U_{зи}=0$  канал между истоком и стоком отсутствует. *P-n*- переходы, направленные встречно, препятствуют движению электронов от истока к стоку, то есть канал отсутствует.

Если подать на затвор напряжение положительной полярности относительно истока, то под действием возникающего поперечного электрического поля электроны из областей истока и стока, а также из кристалла, будут перемещаться в приповерхностную область по направлению к затвору. Когда напряжение на затворе превысит некоторое пороговое значение, то в приповерхностном слое концентрация электронов возрастет настолько, что превысит концентрацию дырок в этой области и произойдет инверсия типа электропроводности. Создается (индуцируется) проводящий канал *n*-типа, толщина которого может составить 1...2 нанометра, и которая далее практически не меняется. Удельная проводимость канального слоя зависит от концентрации электронов в нем. Изменяя  $U_{зи}$ , можно менять величину тока стока. Чем больше положительное напряжение на затворе, тем больше проводимость канала и больше ток стока.

Примерный вид стоковых (выходных) вольтамперных характеристик  $I_c=f(U_{си})$  при постоянных значениях  $U_{зи}=\text{const}$  и стоко-затворной (передаточной) вольтамперной характеристики  $I_c=f(U_{зи})$  при  $U_{си}=\text{const}$  транзистора с индуцированным каналом показан на рис. 5. Особенностью характеристик является то, что ток возникает при положительных напряжениях  $U_{зи} > U_{зи\text{ пор}}$ , где  $U_{зи\text{ пор}}$  – напряжение отпирания транзистора.

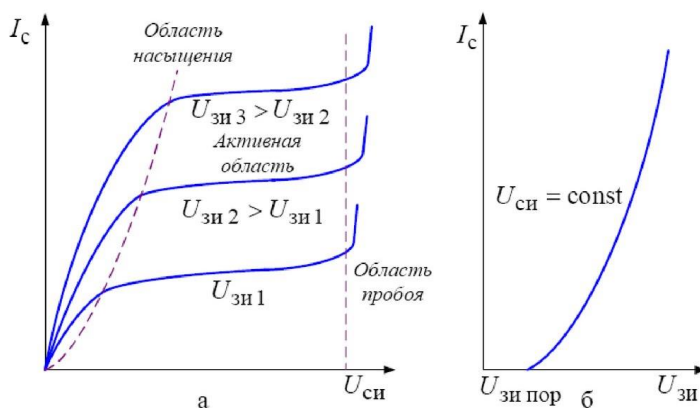


Рис.5. Статические характеристики полевого транзистора с индуцированным каналом

- Основные параметры полевых транзисторов с изолированным затвором:
- крутизна передаточной характеристики  $S = (\Delta I_c / \Delta U_з)$  при  $U_{си} = \text{const}$ ;
  - дифференциальное сопротивление стока на участке насыщения;
  - допустимый ток стока  $I_{c\text{max}}$ ;

– допустимое напряжение  $U_{Cmax}$ ;

– допустимая мощность  $P_{Cmax}$ .

К неоспоримым достоинствам таких транзисторов можно отнести минимальную мощность управления и большой коэффициент усиления по току; большую скорость переключения; устойчивость транзисторов к большим импульсам напряжения.

В отличие от биполярного транзистора, в полевом транзисторе ток управляющего электрода (затвора) на низких частотах значительно меньше, чем ток базы биполярного транзистора.

В работе исследуется полевой МОП-транзистор с изолированным затвором индуцированным каналом n-типа, параметры которого приведены в табл. 1.

табл.1

Тип транзистора	2N7002
Напряжение пробоя сток-исток	60 В
Предельная постоянная рассеиваемая мощность стока транзистора	0.2 Вт
Предельное напряжение затвор-исток	40 В
Предельный ток затвора транзистора	0.115 А
Сопротивление сток-исток во включенном состоянии	7.5 Ом
Предельная температура	150 С

#### 4.Перечень используемого оборудования:

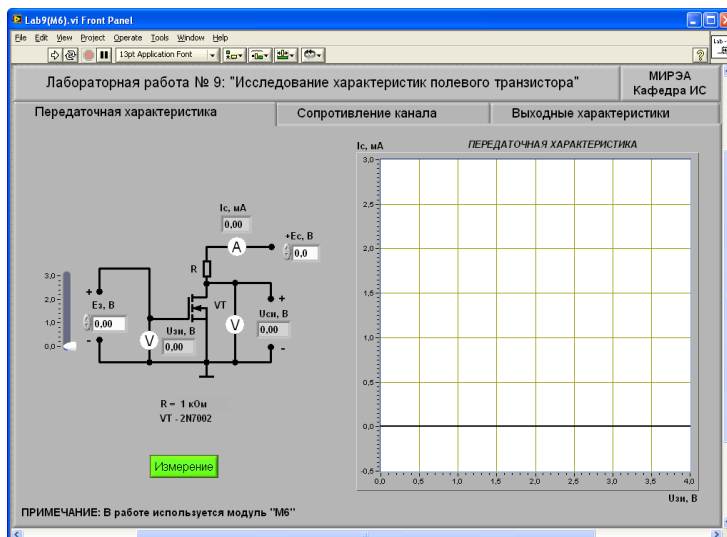
- лабораторная станция NI ELVIS II
- лабораторный модуль М6

**Задание:** Постройте стоко-затворную характеристику, семейство выходных статических характеристик полевого транзистора, зависимость сопротивления канала от напряжения на затворе, проанализируйте форму этих характеристик и сделайте вывод о факторах, влияющих на величину выходного тока стока транзистора, включенного по схеме с общим истоком.

#### 5.Порядок выполнения.

5.1. Установите ключ в разъем модуля М6 лабораторного стенда

5.2. Загрузите и запустите программу **Lab9(M6).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП.

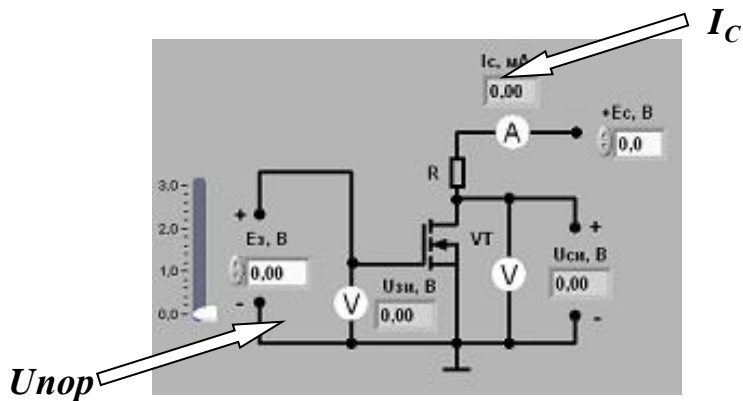


## ПОЛУЧЕНИЕ СТОКОЗАТВОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В СХЕМЕ С ОБЩИМ ИСТОКОМ

5.3. Установите переключатель «К» модуля М6 в положение «1». При этом в цепь коллектора транзистора будет включен резистор сопротивлением 1 Ом.

5.4. С помощью элемента управления  $E_C$  на лицевой панели ВП установите значение напряжения питания в цепи стока равным 10 В. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость выходного тока  $I_C$  транзистора от входного напряжения  $U_{зи}$ . Скопируйте изображение стокзатворной (передаточной) характеристики в отчет.

5.5. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора  $E_3$ , расположенного на лицевой панели ВП, установите значение тока стока  $I_C$  примерно равным 0,01 мА. Запишите в таблицу 1 отчета значение порогового напряжения затвор-исток  $U_{пор}$ , отображаемое на цифровом индикаторе  $U_{зи}$ .



5.6. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора  $E_3$ , расположенного на лицевой панели ВП, установите значение тока стока  $I_C$  сначала равным  $I_{C.1} = 1,0$  мА, а затем равным  $I_{C.2} = 2,5$  мА. Запишите в таблицу 1 отчета значения напряжений  $U_{зи.1}$  и  $U_{зи.2}$  для этих точек передаточной характеристики.

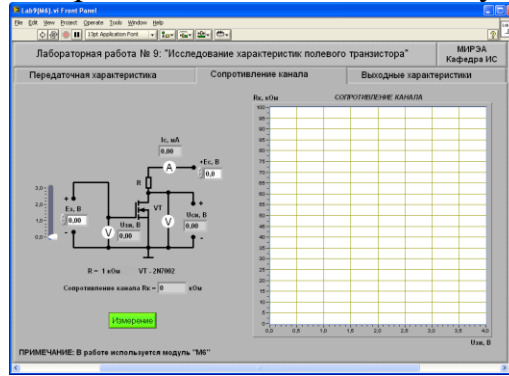
5.7. Используя полученные в п.4.1.4 значения тока стока и напряжения затвор-исток, вычислите крутизну передаточной характеристики полевого транзистора по формуле:  $S = (I_{C2} - I_{C1}) / (U_{зи2} - U_{зи1})$ . Полученное значение запишите в таблицу 1 отчета.

5.8. Определите значение удельной крутизны полевого транзистора по формуле  $b = S / (U_{зи} - U_{пор})$ , используя значения параметров, полученные при выполнении пп.4.6.– 4.7. При этом величину напряжения затвор-исток нужно взять равным  $U_{зи} = (U_{зи1} + U_{зи2}) / 2$ . Полученное значение удельной крутизны запишите в отчет.

табл.2

$I_C, \text{мА}$	$U_{зи}, \text{В}$	$S = (I_{C2} - I_{C1}) / (U_{зи2} - u_{зи1})$	$b = S / (U_{зи} - U_{пор})$
0,01	$U_{пор} =$		
1,0			
2,5			

5.9. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Сопrotивление канала». На экране появится соответствующее изображение ВП.



5.10. С помощью элемента управления  $E_C$  на лицевой панели ВП установите значение напряжения источника питания в цепи стока равным 10 В. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость сопротивления  $R_K$  канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток  $U_{зи}$ . Скопируйте полученный график в отчет.

5.11. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора  $E_3$ , расположенного на лицевой панели ВП, установите значение тока стока  $I_C$  примерно равным 0,01 мА. Запишите в отчет значение сопротивления  $R_{K,макс}$ , соответствующее закрытому состоянию транзистора.

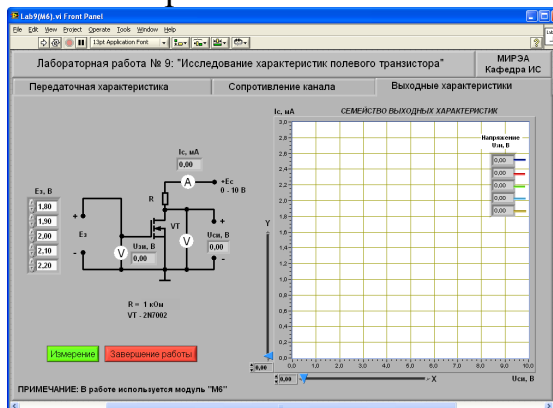
табл.3

$I_C=0,01 \text{ мА}$	$R_{K,макс}$	
$I_C= I_{C,макс}$	$R_{K,мин,}$	

5.12. Изменяя напряжение источника питания в цепи затвора с помощью ползункового регулятора  $E_3$ , расположенного на лицевой панели ВП, установите максимально возможное значение тока стока  $I_C$ . Запишите в отчет значение сопротивления  $R_{K,мин}$ , соответствующее открытому состоянию транзистора.

*ПОЛУЧЕНИЕ СЕМЕЙСТВА ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В СХЕМЕ С ОБЩИМ ИСТОКОМ*

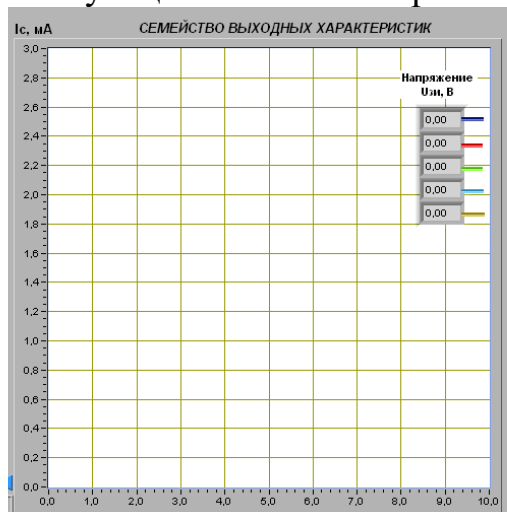
5.13. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Выходные характеристики». На экране появится соответствующее изображение



5.14. Нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». ВП произведет измерение зависимостей тока стока  $I_C$  от напряжения сток-исток  $U_{си}$ . Измерения выполняются при фиксированных значениях напряжения источника питания в цепи затвора  $E_3$ , которые представлены на лицевой панели ВП слева от схемы измерений в виде таблицы. В процессе измерений напряжение источника питания в цепи стока  $E_C$  плавно изменяется от 0 до 10 В. На экране графического индикатора

отображаются графики полученных зависимостей, а также соответствующие им значения напряжения затвор-исток  $U_{зи}$  в виде таблицы справа. При необходимости, с помощью кнопок изменения значений цифровых элементов управления, можно задать другие величины напряжения  $E_3$ . После нажатия на кнопку «Измерение» выходные характеристики будут построены заново.

5.15. Скопируйте изображение ВАХ в отчет. Около каждого графика укажите соответствующее значение напряжения затвор-исток  $U_{зи}$ .



← Соответствующее каждому графику значение напряжения затвор-исток  $U_{зи}$

5.16. Для каждой полученной выходной характеристики определите значение тока стока  $I_c$  соответствующее напряжению  $U_{си} = 5$  В. Для этого с помощью ползункового регулятора «Х» установите вертикальную линию курсора напротив деления «5 В» горизонтальной оси графика. Затем, поочередно совмещая горизонтальную линию курсора с точками пересечения вертикальной линии курсора с выходными характеристиками, определите соответствующие значения тока стока по цифровому индикатору ползункового регулятора «У». Полученные результаты запишите в отчет.

табл.4

U <sub>си</sub> =5В	
U <sub>зи</sub> , В	I <sub>с</sub> , мА

5.17. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

### 6. Указания к выполнению отчета

Отчет должен содержать:

- наименование и цель работы.
- перечень используемого оборудования
- характеристики транзистора
- таблицы с результатами вычислений
- выводы по проведенным исследованиям
- ответы на контрольные вопросы.

## **7. Контрольные вопросы**

1. Какие транзисторы называются полевыми или униполярными?
2. Как устроены полевые транзисторы с управляющим *p-n*-переходом?

Опишите принцип их работы.

3. Какие транзисторы называют полевыми транзисторами с изолированным затвором?
4. Объясните происхождение названия МОП (МДП) - транзистор.
5. В каких режимах работают МОП- транзисторы со встроенным каналом?

## **8. Список литературы**

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.– М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРИСТОРА

**1.Цель работы:** Исследование вольтамперной характеристики тиристора и определение его параметров

**2.Время выполнения работы –2час.**

### **3.Краткие теоретические сведения**

Тиристор – это полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три (или более)  $p-n$ -перехода. Тиристор может переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот.

В зависимости от конструктивных особенностей и свойств тиристоры делят на диодные, триодные и симметричные. Диодные тиристоры имеют два вывода (электрода), а триодные тиристоры имеют три вывода. Диодные тиристоры также называют динисторами, а триодные – тринисторами (или просто – тиристорами). Для коммутации цепей переменного тока разработаны симметричные тиристоры – симисторы, у них ВАХ симметрична относительно начала координат.

Тиристор образуют последовательно чередующиеся области  $p$ - и  $n$  – типов электропроводности.

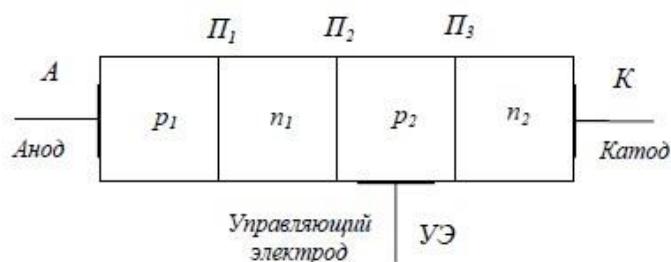


Рис.1. Структура триодного тиристора

Вывод от крайней области  $p1$  называют анодом, вывод от крайней области  $n2$  – катодом, а вывод от одной из промежуточных областей ( $n1$  или  $p2$ ) называют управляющим электродом.  $П1, П3$  – эмиттерные  $p-n$  переходы,  $П2$  – коллекторный переход.

В зависимости, от какой промежуточной области тиристора сделан вывод управляющего электрода, различают тиристоры с анодным и с катодным управлением. На рисунке 12.2 показаны условно-графические изображения тиристора с анодным управлением (а) и с катодным управлением (б).

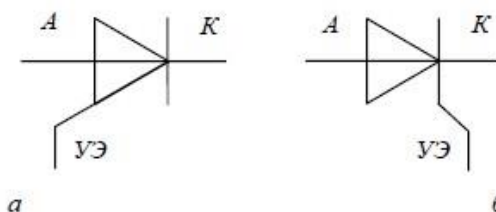


Рис.2. Условно-графическое изображение тиристора: а – с анодным управлением; б – с катодным управлением

Тиристор включается в схему последовательно с нагрузкой  $R_H$ . На рис. 3 показана схема включения триодного тиристора с катодным управлением.



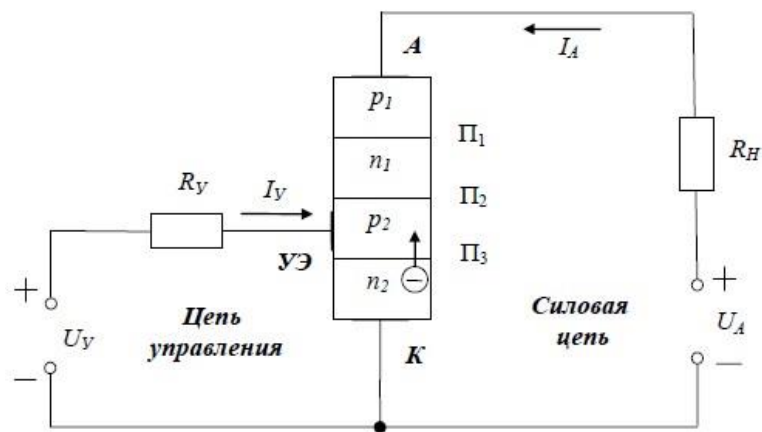


Рис.3. Схема включения тиристора с катодным управлением

Если на анод тиристора подать положительный потенциал относительно катода, то  $p-n$  переходы П1 и П3 будут смещены в прямом направлении, а  $p-n$  переход П2 – в обратном. Сопротивление этого  $p-n$  перехода большое. Поэтому большая часть напряжения  $U_A$  будет приложена к переходу П2 и анодный ток тиристора представляет собой малый обратный ток этого перехода. Сопротивление прибора в целом большое, ток, текущий через тиристор, очень мал. В этом случае говорят, что тиристор находится в закрытом состоянии.

Если между управляющим электродом и катодом пропустить не большой ток управления  $I_y$ , то в зависимости от величины этого тока произойдет переключение тиристора из закрытого в открытое состояние. Сопротивление тиристора в открытом состоянии небольшое (менее одного Ома) и ток, текущий через тиристор, будет определяться в основном сопротивлением нагрузки  $R_H$ .

Напряжение  $U_A$ , при котором тиристор переключается в проводящее состояние, при определенном напряжении (токе) на управляющем электроде  $U_y$  ( $I_y$ ) называют напряжением включения  $U_{вкл}$  или напряжением переключения  $U_{пер}$  тиристора.

Тиристор может находиться во включенном состоянии неограниченно долго, пока существуют условия для протекания в его основной цепи достаточного анодного тока, т.е. включенное состояние тиристора является устойчивым.

Наличие двух устойчивых состояний тиристора (открытое и закрытое), позволяет использовать его в качестве переключателя в различных схемах автоматики и вычислительной техники.

Меняя напряжение  $U_y$ , подаваемое на управляющий электрод, а значит, и ток управления  $I_y$ , можно изменять напряжение включения  $U_{вкл}$  тиристора. Чем меньше ток управления, тем меньше значение напряжения переключения. И если в цепи управления создать ток управления спрямления  $I_{yспр.}$ , то тиристор откроется сразу, как если бы это был обычный диод.

Вольтамперная характеристика тиристора, представленная на рис.4, показывает, что с увеличением тока управления  $I_y$  уменьшается напряжение включения  $U_{вкл}$  тиристора.



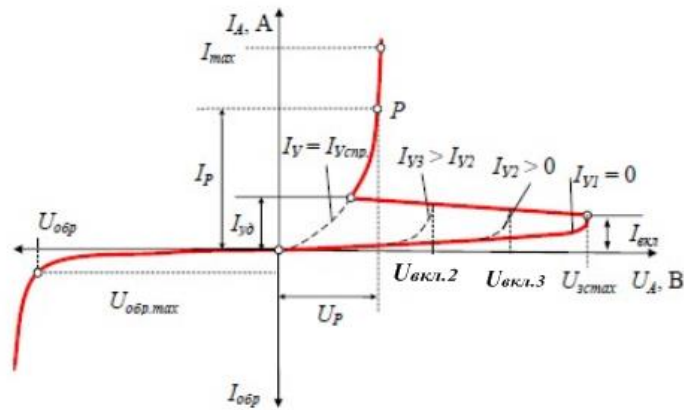


Рис.4. Вольтамперная характеристика тиристора

При отрицательном потенциале на аноде относительно катода тиристор при любых условиях на управляющем электроде открыться не может, т.к.  $p-n$  переходы П1 и П3 смещены в обратном направлении, поэтому обратная ветвь вольтамперной характеристики тиристора такая же, как и у обычного диода.

Таким образом, тиристоры представляют собой электронный ключ, который может находиться в открытом или закрытом состоянии. В открытом состоянии тиристоры хорошо проводят электрический ток, а в закрытом состоянии они представляют большое сопротивление для электрического тока, протекающего через тиристор.

Выключить тиристор можно:

- понижением анодного тока ниже тока удержания  $I_{уд}$ ;
- снижением анодного напряжения  $U_A$  до нуля;
- подачей на тиристор обратного напряжения.

Основными параметрами тиристора являются:

- 1) напряжение переключения, при котором тиристор переключается в проводящее состояние (напряжение включения  $U_{вкл}$ );
- 2) напряжение в открытом состоянии  $U_{ос}$  – падение напряжения на тиристоре в открытом состоянии ( $U_{ос} = 1 \div 3$  В).
- 3) максимальное постоянное напряжение в закрытом состоянии  $U_{зс.мах}$  – максимальное значение прямого напряжения, при котором не происходит включения тиристора (единицы – сотни В);
- 4) максимальный прямой ток в открытом состоянии –  $I_{мах}$ ;
- 5) ток удержания  $I_{уд}$ , второе название  $I_{выкл}$  – наименьший рабочий ток, необходимый для поддержания прибора в открытом состоянии;
- 6) максимально допустимое обратное напряжение –  $U_{обр.мах}$ ;
- 7) максимальная рассеиваемая мощность в открытом состоянии  $P_{мах}$ .

#### 4.Перечень используемого оборудования:

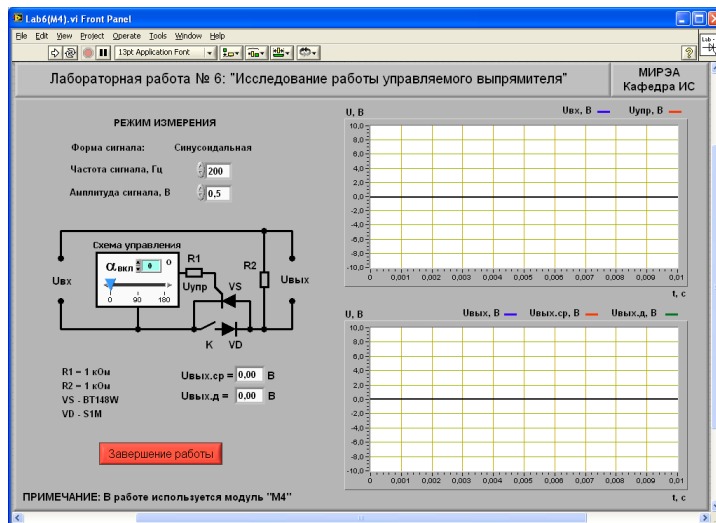
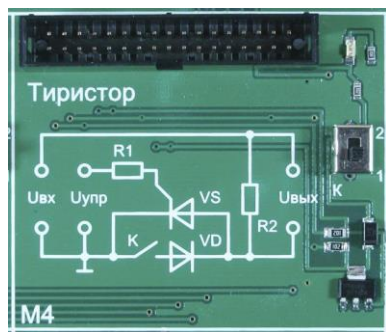
- лабораторная станция NI ELVIS II
- лабораторный модуль M4

**Задание:** Постройте вольтамперную характеристику тиристора проанализируйте ее форму, определите заданные параметры и сделайте выводы по полученным результатам

#### 5.Порядок выполнения.

5.1. Установите ключ в разъем модуля **M4** лабораторного стенда

5.2. Загрузите и запустите программу **Lab5(M4).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП необходимого для выполнения лабораторного задания.



5.3. Установите переключатель «К» модуля M4 в положение «1».

5.4. Создайте условия для включения тиристора. Для этого с помощью ползункового регулятора **Е<sub>а</sub>** на лицевой панели ВП установите напряжение анода тиристора равным 10 В. Затем переместите ползунок регулятора **Е<sub>упр</sub>** в верхнее положение. При этом тиристор откроется, о чем будет свидетельствовать резкое увеличение тока **I<sub>а</sub>** в цепи анода до максимального значения.

5.5. Переведите тиристор в закрытое состояние. Для этого плавно уменьшайте ползунковым регулятором **Е<sub>упр</sub>** напряжение на управляющем электроде тиристора до тех пор, пока не произойдет скачкообразное уменьшение тока анода тиристора **I<sub>а</sub>**.

5.6. Для построения ВАХ тиристора нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость анодного тока **I<sub>а</sub>** тиристора от напряжения на аноде **U<sub>а</sub>**.

5.7. По ВАХ тиристора определите величины анодного тока и напряжения на аноде в момент его включения. Для этого установите пересечение вертикальной и горизонтальной линий курсора около точки включения тиристора. На ВАХ это точка А. Линии курсора перемещаются по экрану графического индикатора с помощью соответствующих ползунковых регуляторов «X» и «Y». По цифровым индикаторам ползунковых регуляторов определите измеряемые значения тока и напряжения. Запишите полученные величины **I<sub>а.вкл</sub>** и **U<sub>а.вкл</sub>** в таблицу 1 отчета

5.8. Определите ток и напряжение выключения тиристора. Для этого установите пересечение вертикальной и горизонтальной линий курсора около точки выключения тиристора (точка Б ВАХ). По цифровым индикаторам ползунковых регуляторов «X» и «Y» определите и запишите в отчет значение **I<sub>а.выкл</sub>**

5.9. Определите падение напряжения на открытом тиристоре. Для этого с помощью ползункового регулятора «Y» установите горизонтальную линию курсора напротив деления «6 мА» вертикальной оси графика (на участке БВ ВАХ). Затем с помощью ползункового регулятора «X» установите вертикальную линию курсора так, чтобы она проходила через точку пересечения горизонтальной линии курсора с нисходящей ветвью БВ ВАХ тиристора. По цифровому индикатору ползункового

регулятора «X» определите и запишите в отчет значение падения напряжения  $U_{пр}$  на открытом тиристоре. Скопируйте ВАХ тиристора в отчет, отметив на графике  $I_{a.вкл}$ ,  $U_{a.вкл}$ ,  $I_{a.выкл}$ .

5.10. Постепенно увеличивая напряжение на управляющем электроде с помощью регулятора  $E_{упр}$  и, нажимая при этом на кнопку «Измерение» для построения ВАХ, определите и запишите в отчет напряжение на управляющем электроде тиристора  $U_{упр.мах}$ , начиная с которого на ВАХ тиристора отсутствует пологий участок. Также определите и запишите в отчет соответствующие этому режиму ток управления  $I_{упр.мах}$ ,

табл.1

$I_{a.вкл}$ , мА	$U_{a.вкл}$ , В	$U_{пр.}$ , В	$I_{a.выкл.}$ , В	$U_{упр.мах}$ , В	$I_{упр.мА}$

5.11. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

## 6. Указания к выполнению отчета

Отчет должен содержать:

- тему и цель работы, перечень используемого оборудования, задание и порядок выполнения
- вольтамперную характеристику.
- таблицу с результатами измерений
- выводы по проведенным исследованиям
- ответы на контрольные вопросы

## 7. Контрольные вопросы

1. Какие полупроводниковые приборы называются тиристорами?
2. Какие бывают разновидности тиристоров?
3. Какое явление положено в основу принципа действия тиристора?
4. Как отличаются сопротивления тиристоров в открытом и закрытом состоянии?
5. Как влияет величина управляющего тока на напряжение включения?
6. Назначение выводов триодного тиристора

## 8. Список литературы

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.— М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО И НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

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

**2. Время выполнения работы –4час.**

**3. Краткие теоретические сведения**

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.

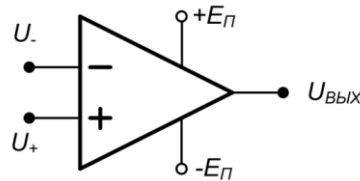


Рис. 1. Условное графическое обозначение ОУ

«-» – 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:***

- коэффициент передачи ОУ без обратной связи равен бесконечности;
- входной ток равен нулю;
- напряжение смещения и ток смещения на выходе ОУ равны нулю;
- входное сопротивление ОУ равно бесконечности;
- 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.

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.

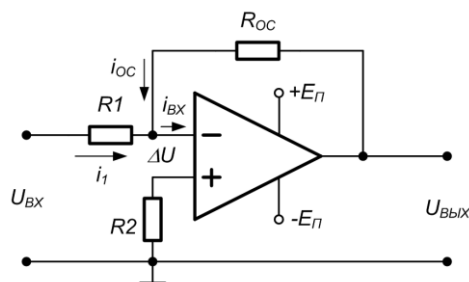


Рис. 2. Принципиальная схема инвертирующего усилителя на ОУ

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:

$$U_{вых} = - (R_{oc} / R1) U1 = - K, \quad (2)$$

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 усилителя на операционном усилителе можно регулировать посредством выбора сопротивлений двух резисторов,  $R_1$  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 ( $\pm 10$ 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  $R_2$ . Он предназначен, как и в схеме инвертирующего усилителя, для уменьшения составляющей погрешности выходного напряжения, вызванной входными токами реального операционного усилителя. Сопротивление резистор  $R_2$  выбирается по соотношению  $R_2 = R_1$ .

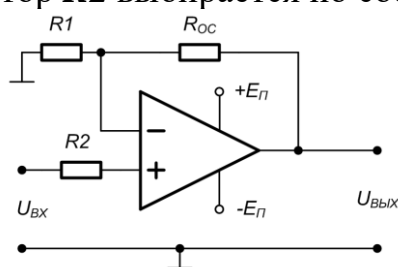


Рис. 3. Принципиальная схема неинвертирующего усилителя на ОУ

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

$$K = (1 + R_{oc}/R_1)$$

#### 4. Перечень используемого оборудования:

- платформа NI ELVIS II;
- лабораторные модули М7, М8.

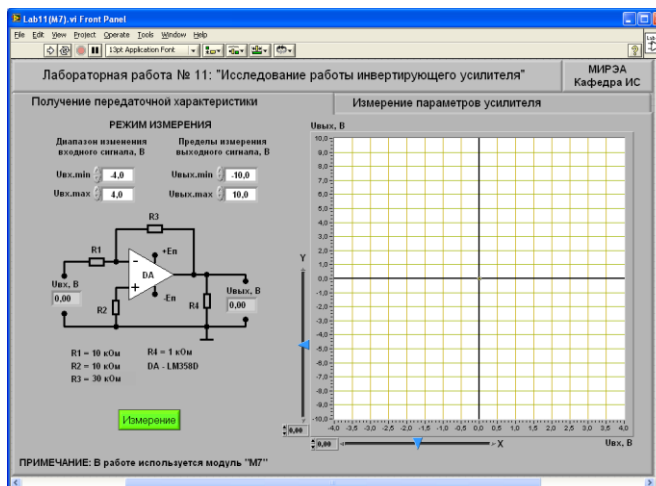
**Задание:** Проанализируйте работу схемы инвертирующего и неинвертирующего усилителя на основе операционного усилителя, сделайте вывод о влиянии на коэффициент усиления резисторов в цепи обратной связи, о разности фаз на входе и выходе инвертирующего и неинвертирующего усилителей, сравните коэффициенты усиления инвертирующего и неинвертирующего усилителей рассчитанных по временным диаграммам и по теоретическим формулам.

#### 5. Порядок выполнения работы

##### Исследование инвертирующего усилителя

5.1. Установите ключ в разъем модуля М7 лабораторного стенда.

5.2 Запустите программу **Lab11(М7).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «**Получение передаточной характеристики**»



### *Измерение передаточной характеристики инвертирующего усилителя*

5.3. Установите переключатель «К» модуля М7 в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор  $R_3$  с сопротивлением 30 кОм.

5.4. С помощью элементов управления ВП установите 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 инвертирующего усилителя. Скопируйте полученную характеристику в отчет.

5.5. По передаточной характеристике определите 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.

5.6. Определите 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.

5.7. 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. 5 – 4.7.

### *Измерение напряжения смещения*

5.8. Установить переключатель «К» модуля М7 в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор  $R_3$  сопротивлением 30 кОм.

5.9. 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.

### *Исследование работы инвертирующего усилителя*

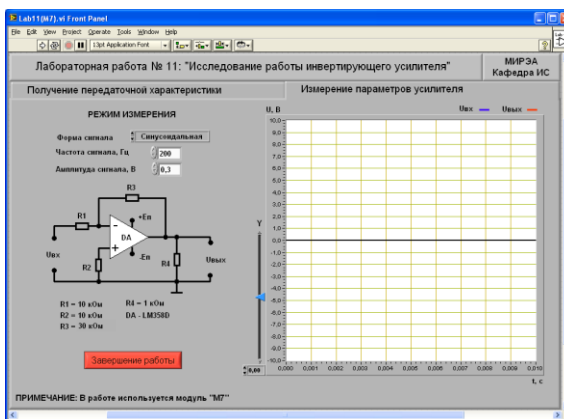


5.10. Установить переключатель «К» модуля М7 в положение «1». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R3 сопротивлением 30 кОм.

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

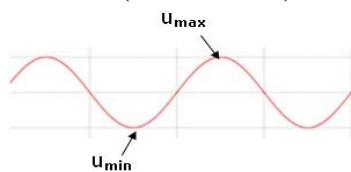
5.12.С помощью элементов управления ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц. Амплитуду входного сигнала выберите такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения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

5.13. 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.



5.14. Используя изображения входного и выходного сигналов на графическом индикаторе ВП, определите с помощью горизонтальной линии курсора амплитуды входного  $U_{вх.m}$  и выходного  $U_{вых.m}$  сигналов. По полученным данным вычислите коэффициент усиления инвертирующего усилителя по формуле:  $K = U_{вых.m} / U_{вх.m}$ . Результат запишите в отчет. Для определения амплитуды сигнала необходимо измерить его максимальное  $u_{max}$  и минимальное  $u_{min}$  мгновенные значения и произвести вычисление по формуле:

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



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

5.15. Рассчитайте коэффициент усиления инвертирующего усилителя. Для расчета воспользуйтесь соотношением  $K = R3 / R1$ . Результат запишите в отчет.

5.16. Сравните значения коэффициентов усиления, полученные по передаточной характеристике на основе результатов измерений и расчетным путем. Выводы и результаты запишите в отчет.

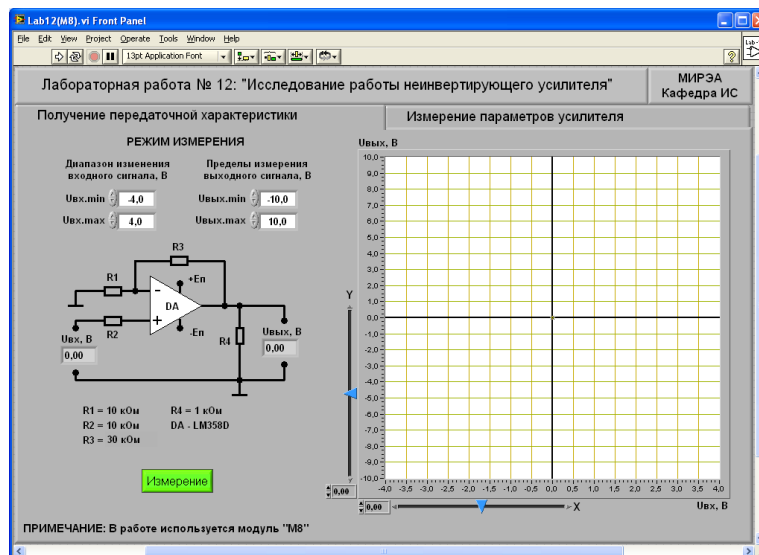
5.17. Установите переключатель «К» модуля М7 в положение «2». При этом в цепь обратной связи усилителя будет включен резистор R3 сопротивлением 100 кОм. Повторите исследования, предусмотренные пп.4.11.– 4.16.

### ***Исследование неинвертирующего усилителя***



5.18. Установить ключ в разъем модуля М8 лабораторного стенда

5.19. Загрузите и запустите программу Lab12(M8).vi. На экране появится изображение лицевой панели ВП. При запуске программы активной будет закладка «Получение передаточной характеристики» используемая при выполнении задания 1.



### *Измерение передаточной характеристики неинвертирующего усилителя*

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

5.21. С помощью элементов управления ВП установите 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.

5.22. По передаточной характеристике определите 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.

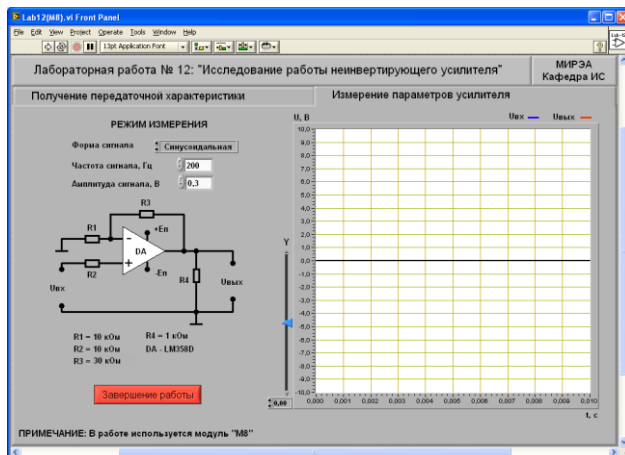
5.23. Определите коэффициент усиления неинвертирующего усилителя. Для этого на передаточной характеристике с помощью горизонтальной и вертикальной линий курсора определите координаты двух произвольных точек на наклонном участке характеристики и произведите вычисления по формуле:  $K_{ус} = (U_{вых.2}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

5.24. 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.4.21.–4.24.

### *Исследование работы неинвертирующего усилителя*

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

5.26. На лицевой панели ВП нажмите мышью на закладку с надписью «Измерение параметров усилителя». На экране появится соответствующее изображение ВП.

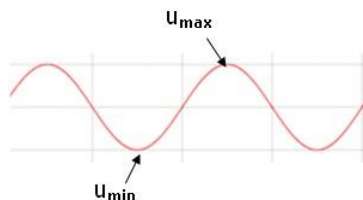


5.27. С помощью элементов управления ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – синусоидальная, частота сигнала – 200 Гц. Амплитуду входного сигнала выберите такой величины, при которой выходной сигнал, наблюдаемый на графическом индикаторе ВП, не имеет искажений и удобен для наблюдения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

5.28. 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.

5.29. Используя изображения входного и выходного сигналов, полученные на графическом индикаторе ВП, определите с помощью горизонтальной линии курсора амплитуды входного  $U_{вх.m}$  и выходного  $U_{вых.m}$  сигналов. По полученным данным вычислите коэффициент усиления неинвертирующего усилителя по формуле:  $K = U_{вых.m} / U_{вх.m}$ . Результат запишите в отчет. Для определения амплитуды сигнала необходимо измерить его максимальное  $u_{max}$  и минимальное  $u_{min}$  мгновенные значения и произвести вычисление по формуле:

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



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

5.31. Сравните значения коэффициентов усиления, полученные по передаточной характеристике на основе результатов измерений и расчетным путем. Выводы и результаты запишите в отчет.

5.32. 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.4.27.– 4.31.

5.33. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

## **6. Указания к выполнению отчета**

Отчет должен содержать:

- наименование и цель работы.
- перечень используемого оборудования
- схемы измерений
- таблицы измерений
- осциллограммы напряжений
- результаты вычислений
- выводы по проведенным исследованиям
- ответы на контрольные вопросы.

## **7. Контрольные вопросы**

1. Каково назначение операционного усилителя?
2. Перечислите свойства идеального операционного усилителя
3. Приведите формулы коэффициента усиления инвертирующего и неинвертирующего усилителя.
4. Какова разность фаз между входным и выходным сигналами инвертирующего усилителя?
5. Какова разность фаз между входным и выходным сигналами неинвертирующего усилителя?

## **8. Список литературы**

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.— М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7  
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНО- И ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО  
ВЫПРЯМИТЕЛЯ И ФИЛЬТРОВ

**1.Цель работы:** Изучение однополупериодной и мостовой двухполупериодной схем выпрямителей и сглаживающих фильтров

**2.Время выполнения работы –4час.**

**3.Краткие теоретические сведения**

Выпрямитель - это устройство, которое преобразует переменное напряжение питающей сети в однонаправленное напряжение (одной полярности). Основное назначение выпрямителей заключается в сохранении направления тока в нагрузке при изменении полярности напряжения, приложенного к входу выпрямителя.

Соотношения между параметрами в выпрямительном устройстве во многом зависят от схемы выпрямления. Под **схемой выпрямления** понимают схему соединения обмоток трансформатора и порядок присоединения вентилей ко вторичным обмоткам трансформатора.

**По числу фаз источника питания переменного напряжения** различают выпрямители однофазного тока и выпрямители трехфазного тока. **По форме выпрямленного напряжения** бывают однополупериодные (используются только половины каждого из периодов сетевого напряжения) и двухполупериодные (используются оба полупериода напряжения сети). **По возможности управления выходным напряжением** различают неуправляемые и управляемые выпрямители. В неуправляемых выпрямителях в качестве вентилей используют диоды. Выходное напряжение таких выпрямителей регулировать невозможно. Управляемые выпрямители совмещают выпрямление переменного напряжения с управлением выпрямленным напряжением. В качестве вентилей в таких выпрямителях используют тиристоры либо комбинации тиристоров и диодов. **По мощности** выпрямители делятся на; а) малой мощности (единицы киловатт); б) средней мощности (десятки киловатт); в) большой мощности (сотни и тысячи киловатт).

Основные параметры выпрямителей:

1. Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{\text{вых}} dt$$

где T – период питающей сети

2. Среднее значение выходного тока

$$I_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{\text{вых}} dt$$

3. Выходная мощность выпрямителя

$$P = U_{\text{ср}} I_{\text{ср}}$$

4. Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения

$$\varepsilon = \frac{U_{m1}}{U_{cp}}$$

где  $U_{m1}$  — амплитуда первой (основной) гармоники.

Простейшим выпрямителем является схема однофазного однополупериодного выпрямителя.

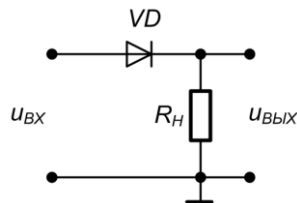


Рис.1. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя

На вход выпрямителя поступает синусоидальное напряжение. В интервале времени от 0 до  $T/2$  диод открыт, и ток в нагрузке повторяет форму входного сигнала. В интервале времени от  $T/2$  до  $T$  диод  $VD$  закрыт.

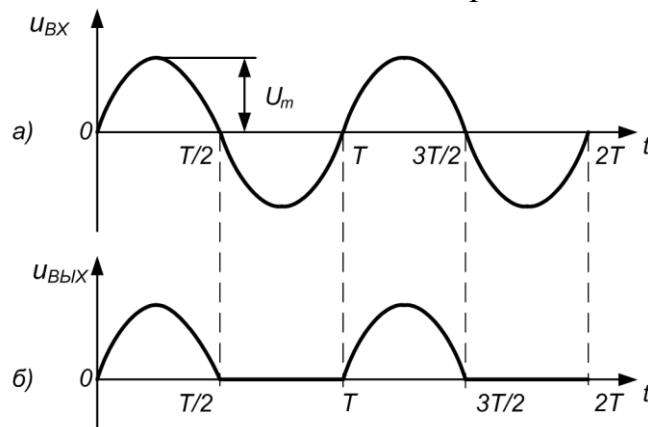


Рис.2. Временные диаграммы напряжений на входе (а) и выходе (б) однофазного однополупериодного выпрямителя

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{ам}}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} U_{\text{э}}}{\pi} \approx 0.45 U_{\text{э}}$$

где  $U_{\text{э}}$  — действующее значение входного напряжения

Максимальное обратное напряжение на диоде

$$U_{\text{обр макс}} = \sqrt{2} U_{\text{вх}} = \pi U_{\text{cp}}$$

Максимальный ток диода

$$I_{\text{д макс}} = \frac{\sqrt{2} U_{\text{вх}}}{R} = \pi I_{\text{cp}}$$

коэффициент пульсаций

$$\varepsilon = \pi/2 \approx 1.57$$

Однополупериодные выпрямители отличаются простотой, но имеют низкую эффективность и высокий коэффициент пульсации. Меньший уровень пульсаций

выпрямленного напряжения можно получить в двухполупериодных выпрямителях. Наиболее широкое практическое распространение среди двухполупериодных схем получил **однофазный мостовой выпрямитель**.

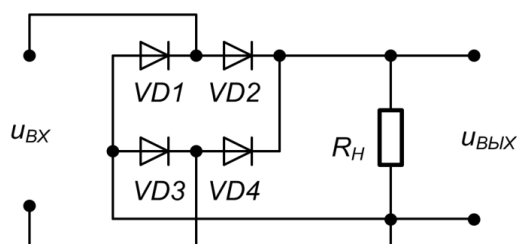


Рис. 3. Схема однофазного мостового выпрямителя

На интервале 0 до  $T/2$  входное напряжение смещает в прямом направлении включенные последовательно с нагрузкой диоды **VD2** и **VD3**. При этом диоды **VD1** и **VD4** смещены в обратном направлении напряжением, приложенным к нагрузке. На интервале от  $T/2$  до  $T$  входное напряжение смещает диоды **VD1** и **VD4** в прямом, а диоды **VD2** и **VD3** в обратном направлении. Таким образом, напряжение прикладывается к нагрузке в течение всего периода изменения входного напряжения.

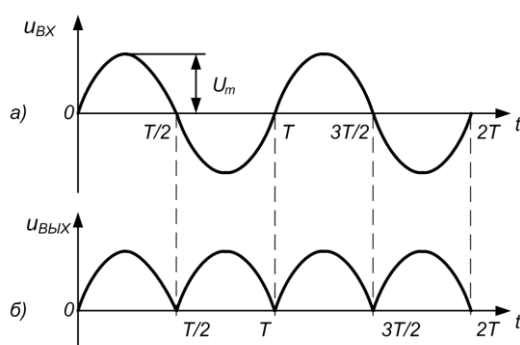


Рис. 4. Временные диаграммы напряжений на входе (а) и выходе (б) однофазного мостового выпрямителя

В двухполупериодном выпрямителе постоянная составляющая тока и напряжения увеличивается вдвое по сравнению с однополупериодной схемой:

$$I_{\text{н}} = \frac{2}{\pi} I_{2m}; \quad U_{\text{н}} = \frac{2U'_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0.9U_2$$

Коэффициент пульсаций в данном случае значительно меньше, чем у однополупериодного выпрямителя:

$$\varepsilon = \frac{2}{3} \approx 0.67$$

**Сглаживающие фильтры** применяются для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения. Основным параметром сглаживающих фильтров является *коэффициент сглаживания* ( $q$ ), который определяется как отношение коэффициента пульсаций на входе фильтра к коэффициенту пульсаций на его выходе (на нагрузке).

В настоящее время наиболее распространенными являются: емкостной фильтр, индуктивный фильтр, Г-образный и П-образный фильтр.

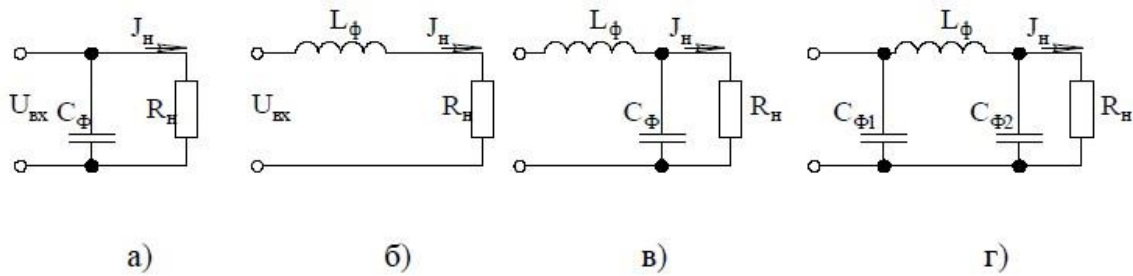


Рис.5. Варианты сглаживающих фильтров: емкостной (а), индуктивный (б), Г-образный (в), П-образный(г).

**Емкостной фильтр** состоит из конденсатора, подключаемого параллельно нагрузке. Для фильтра необходимо выполнить условие:

$$X_C = \frac{1}{\omega c} \ll R_H$$

где  $\omega c$  – емкостное сопротивление конденсатора

**Индуктивный фильтр** представляет собой дроссель низкой частоты, включенный между выпрямителем и нагрузкой. Для обеспечения большого коэффициента сглаживания необходимо, чтобы  $X_L = \omega L \gg R_H$ . Недостатком индуктивного фильтра являются большие габариты и вес дросселя.

**Многозвенные фильтры** применяются при необходимости получения больших коэффициентов сглаживания на выходе выпрямителя. Они представляют собой последовательное включение нескольких фильтров. При этом могут использоваться как однотипные, так и разнотипные звенья. При каскадном включении LC фильтров суммарный коэффициент сглаживания ( $q\Sigma$ ) равен произведению коэффициентов сглаживания составляющих фильтр звеньев:  $q\Sigma = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \dots$

**Г-образный фильтр** сочетает в себе свойства индуктивного и емкостного фильтров. Его можно рассматривать как делитель напряжения с частотно-зависимым коэффициентом передачи. Г-образные фильтры применяются в выпрямителях большой и средней мощности. **П-образные** фильтры применяются в выпрямителях с большим внутренним сопротивлением. Они сложные, дорогие, но обеспечивают высокий коэффициент сглаживания.

#### 4.Перечень используемого оборудования:

- лабораторная станция NI ELVIS II
- лабораторный модуль M1
- лабораторный модуль M2

**Задание:** Проанализируйте работу однополупериодной и мостовой двухполупериодной схем выпрямителей при отключенной схеме сглаживающего фильтра, сравните форму выходных сигналов этих схем. Сравните форму сигналов на выходе мостовой двухполупериодной схемы выпрямителя при подключенной и отключенной схеме сглаживающего фильтра вычислите коэффициент сглаживания пульсаций при двух значениях емкости конденсатора в схеме фильтра. Сделайте вывод о влиянии емкости конденсатора фильтра на величину коэффициента сглаживания пульсаций

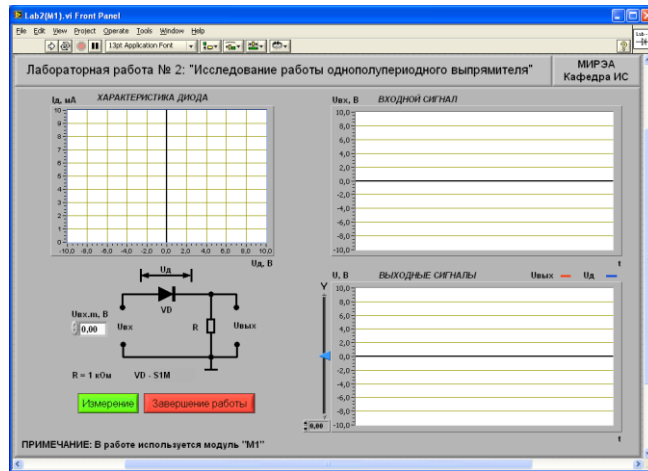
#### 5.Порядок выполнения.



## 5.1. Изучение однополупериодной схемы выпрямления

5.1.1. Установите ключ в разъем модуля М1 лабораторного стенда

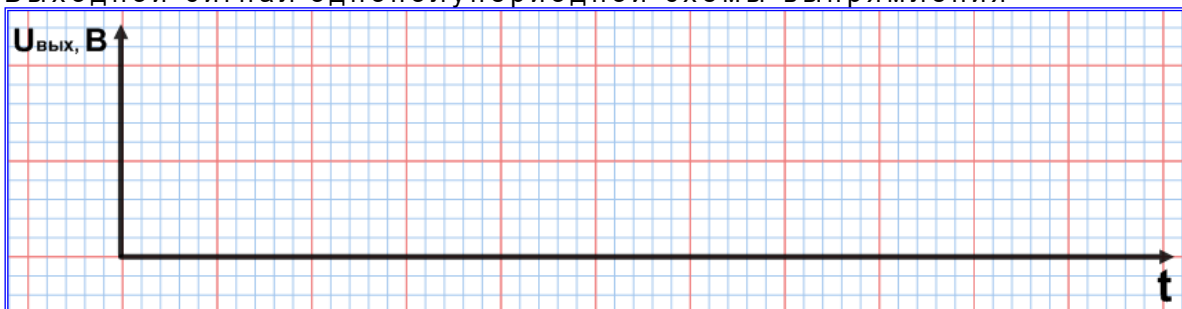
5.1.2. Загрузите и запустите программу Lab2(M1).vi. На экране появится изображение лицевой панели ВП необходимого для выполнения лабораторного задания.



5.1.3. Установите переключатель «К» модуля М1 в положение «1».

5.1.4. Получите осциллограммы напряжений на входе и выходе однополупериодного выпрямителя. Для этого, на лицевой панели ВП нажмите кнопку «Измерение» и с помощью элемента управления  $U_{вх.m}$  установите амплитуду входного сигнала  $U_{вх}$  такой величины, чтобы выходной сигнал  $U_{вых}$  не имел видимых искажений и был удобен для наблюдения. Скопируйте полученную осциллограмму выходного напряжения в отчет.

Выходной сигнал однополупериодной схемы выпрямления



5.1.5. Измерьте и запишите в таблицу 1 максимальное мгновенное значение напряжения на выходе выпрямителя  $U_{вых.max}$ . Для измерения используйте горизонтальную линию курсора, положение которой изменяется ползунковым регулятором «Y». По цифровому индикатору ползункового регулятора «Y» определите измеряемое значение напряжения.

5.1.6. Вычислите и запишите в таблицу 1 отчета средневыпрямленное значение напряжения на выходе выпрямителя. Для вычислений используйте формулу:  $U_{вых.sp} = U_{вых.max}/\pi$

табл. 1

$U_{вых.max}, B$	$U_{вых.sp} = U_{вых.max}/\pi, B$

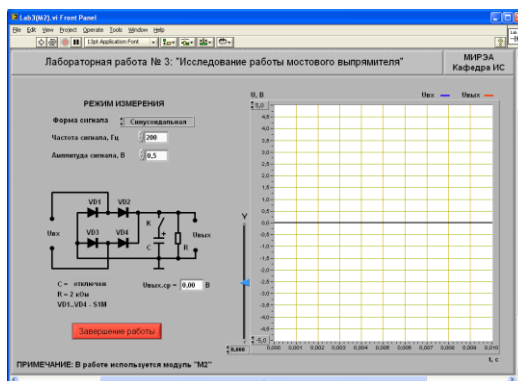
5.1.7. Сравните формы сигналов на входе и выходе выпрямителя. Результаты сравнения запишите в виде выводов.

## 5.2. Изучение мостовой двухполупериодной схемы выпрямления

5.2.1. Установите ключ в разъем модуля М2 лабораторного стенда



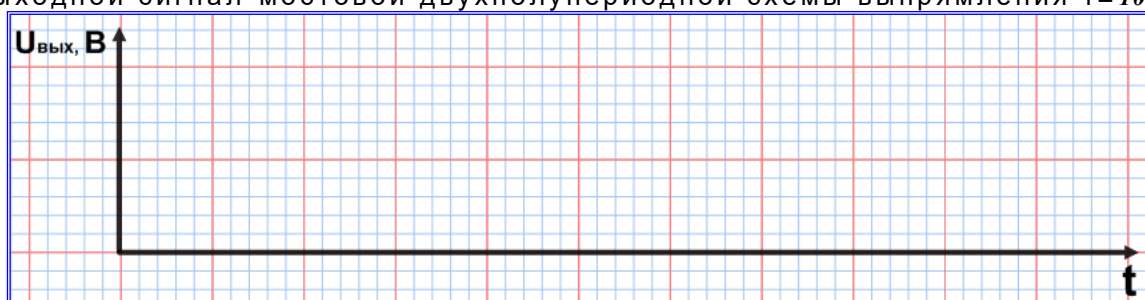
5.2.2. Загрузите и запустите программу **Lab3(M2).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП необходимого для выполнения лабораторного задания



5.2.3. Установите переключатель «К» модуля М2 в положение «1», при котором емкостной сглаживающий фильтр С отключен от выхода выпрямителя.

5.2.4. С помощью элементов управления на лицевой панели ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – **синусоидальная**, частота сигнала – **100 Гц**. Амплитуду сигнала на входе схемы установите такой величины, чтобы сигналы на осциллограмме не имели видимых искажений и были удобны для наблюдения и измерений. На графическом индикаторе будут отображены осциллограммы входного и выходного сигналов выпрямителя. Скопируйте полученную осциллограмму выходного напряжения в отчет.

Выходной сигнал мостовой двухполупериодной схемы выпрямления  $f = 100 \text{ Гц}$



5.2.5. Используя полученные осциллограммы, сравните форму сигналов на входе и выходе выпрямителя. Результаты сравнения запишите в виде выводов.

5.2.6. Измерьте и запишите в таблицу 2 максимальное значение напряжения на выходе выпрямителя  $U_{ВЫХ.max}$ . Для измерения используйте горизонтальную линию курсора, положение которой изменяется ползунковым регулятором «У». По цифровому индикатору ползункового регулятора «У» определите измеряемое значение напряжения.

5.2.7. Вычислите и запишите в таблицу 2 среднее значение напряжения на выходе выпрямителя. Для вычислений используйте формулу:  $U_{ВЫХ.СР} = 2 \cdot U_{ВЫХ.max} / \pi$ . Сравните вычисленное значение напряжения с величиной, отображаемой на цифровом индикаторе « $U_{ВЫХ.СР}$ », расположенном на лицевой панели ВП. Выводы и результаты запишите в отчет.

табл. 2

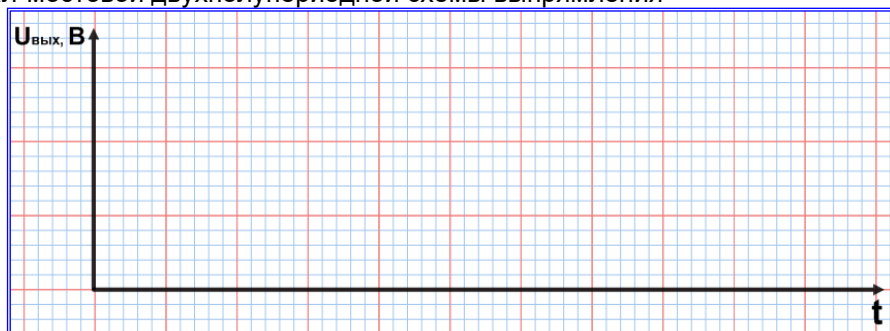
$U_{вых.max}, \text{В}$	$U_{вых.ср} = 2 \cdot U_{вых.max} / \pi$

### 5.3. Исследование работы схемы однофазного мостового выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром

5.3.1. Установите переключатель «К» модуля М2 в положение «2», при котором на выходе выпрямителя параллельно сопротивлению нагрузки ( $R_H = 2$  кОм) подключается емкостной сглаживающий фильтр ( $C_\Phi = 4,7$  мкФ).

5.3.2. С помощью элементов управления на лицевой панели ВП установите следующий режим измерения: форма сигнала – **синусоидальная**, частота сигнала – **100 Гц**. Амплитуду сигнала на входе схемы установите такой величины, чтобы сигналы на осциллограмме не имели видимых искажений и были удобны для наблюдения и измерений. На графическом индикаторе будут отображены осциллограммы входного и выходного сигналов выпрямителя. Скопируйте полученные осциллограммы в отчет.

Выходной сигнал мостовой двухполупериодной схемы выпрямления



с фильтром  $f=100$  Гц,  $C_\Phi = 4,7$  мкФ

5.3.3. Используя полученные осциллограммы, сравните формы сигналов на входе и выходе выпрямителя. Результаты сравнения запишите в виде выводов.

5.3.4. Измерьте и запишите в таблицу 3 максимальное  $U_{вых \cdot max}$  и минимальное  $U_{вых \cdot min}$  значения напряжения на выходе выпрямителя. Для измерения используйте горизонтальную линию курсора, положение которой изменяется ползунковым регулятором «У». По цифровому индикатору ползункового регулятора «У» определите измеряемое значение напряжения. Для удобства измерений масштаб шкалы для вертикальной оси графика может быть изменен с помощью цифровых элементов управления, задающих ее начальное и конечное значения.

5.3.5. Запишите в таблицу 3 среднее значение напряжения на выходе выпрямителя, отображаемое на цифровом индикаторе « $U_{вых \cdot ср}$ », расположенном на лицевой панели ВП.

5.3.6. Вычислите коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя с емкостным фильтром по формуле и занесите в таблицу 3

$$k = \frac{U_{ВВХ \max} - U_{ВВХ \min}}{U_{ВВХ \text{ ср}}}$$

табл. 3

при $C_\Phi = 4,7$ мкФ				
Частота входного сигнала, Гц	$U_{вых \cdot max}, В$	$U_{вых \cdot min}$	$U_{вых \cdot ср}$	$k = \frac{U_{ВВХ \max} - U_{ВВХ \min}}{U_{ВВХ \text{ ср}}}$
100				

5.3.7. Установите переключатель «К» модуля М2 в положение «3», при котором на выходе выпрямителя параллельно сопротивлению нагрузки ( $R_H = 2$  кОм) подключается емкостной сглаживающий фильтр ( $C_\Phi = 47$  мкФ).

5.3.8. Повторите исследования, предусмотренные пп. 4.3.2 – 4.3.6. при новом значении емкости конденсатора фильтра. Результаты запишите в таблицу 4. Сделайте вывод о влиянии емкости конденсатора фильтра на работу выпрямителя.

Выходной сигнал мостовой двухполупериодной схемы выпрямления  
с фильтром  $f=100$  Гц,  $C\phi = 47$  мкФ

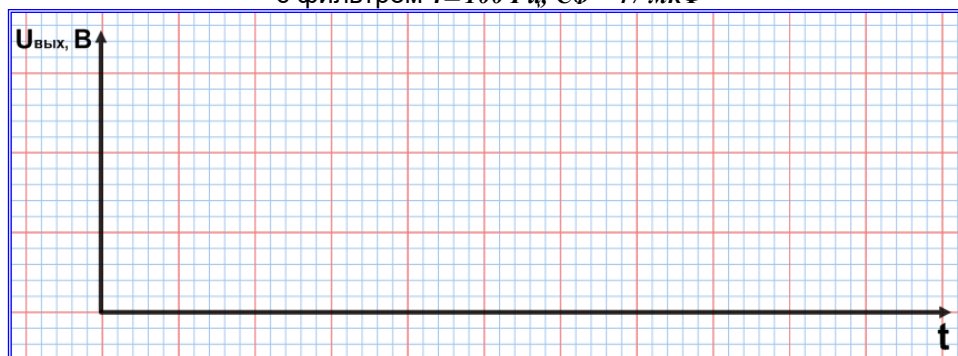


табл.4

при $C\phi = 47$ мкФ				
Частота входного сигнала, Гц	$U_{\text{вых.max.}}, В$	$U_{\text{вых.min}}$	$U_{\text{вых.ср.}}$	$k = \frac{U_{\text{ВВЛmax}} - U_{\text{ВВЛmin}}}{U_{\text{ВВЛср}}}$
100				

5.4. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

### 6. Указания к выполнению отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему и цель работы, перечень используемого оборудования, задание и порядок выполнения
2. Осциллограммы напряжений
3. Таблицы с результатами вычислений
5. Выводы по проведенным исследованиям

### 7. Контрольные вопросы

1. Каково назначение выпрямительных схем?
2. В чем отличие однополупериодных схем выпрямления от двухполупериодных?
3. Каково назначение сглаживающих фильтров?
4. Что такое коэффициент сглаживания пульсаций?
6. Перечислите известные вам разновидности сглаживающих фильтров
7. С чем связана необходимость применения многозвенных фильтров?

### 8. Список литературы

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.— М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НА ТИРИСТОРАХ

1. **Цель работы:** Изучение работы схемы управляемого выпрямителя
2. **Время выполнения работы** – 2 час.
3. **Краткие теоретические сведения**

Выпрямители, которые совмещают выпрямление переменного напряжения (тока) с управлением выпрямленным напряжением (током), называются управляемыми выпрямителями.

Простейшая схема управляемого однополупериодного выпрямителя на одном тиристоре приведена на рис. 1.

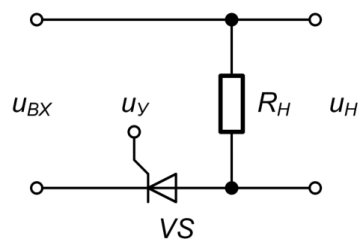


Рис.1. Схема управляемого выпрямителя

Управление выходным выпрямленным напряжением сводится к управлению во времени моментом отпирания тиристора. Если тиристор открыт в течение всего полупериода, то на выходе получается пульсирующее напряжение, аналогично неуправляемому выпрямителю. При изменении времени задержки отпирания тиристорных меняется выпрямленное напряжение в сторону уменьшения. Для каждой задержки соответствует определенный угол сдвига управляющего импульса относительно момента  $u_{BX}=0$ . Этот угол называется углом управления или регулирования.

Для управления включением тиристора необходимо выполнить два условия: напряжение на аноде тиристора должно быть положительным (но не превышающим напряжение  $U_{a.вкл}$ ) и к управляющему электроду должно быть приложено положительное напряжение, соответствующее отпирающему току. Первое условие выполняется для положительных полуволн входного напряжения, а для выполнения второго условия на управляющий электрод тиристора подают отпирающие импульсы  $u_U$ .

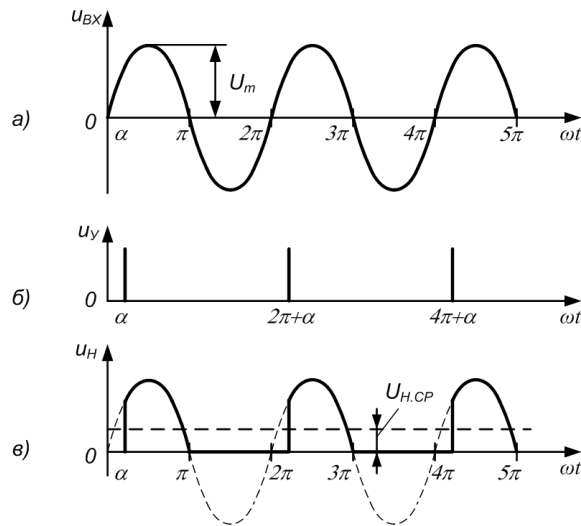


Рис.2. Временные диаграммы напряжений на входе управляемого выпрямителя (а), на управляющем электроде тиристора (б) и нагрузке (в)

После включения тиристора управляющий электрод теряет управляющие свойства. Выключение тиристора произойдет при уменьшении напряжения на его аноде до уровня  $U_{a.выкл}$ .

3. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя приведена на рис.

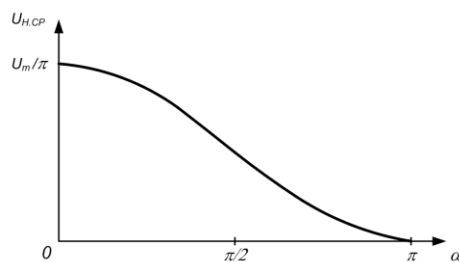


Рис.3. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя

При угле включения тиристора  $\lambda = 0$  среднее выпрямленное напряжение на нагрузке  $U_{H,CP}$  будет максимальным, а при  $\lambda = \pi$  напряжение на нагрузке равно нулю ( $U_{H,CP} = 0$ ). Такой способ управления тиристором называется фазоимпульсным.

#### 4. Перечень используемого оборудования:

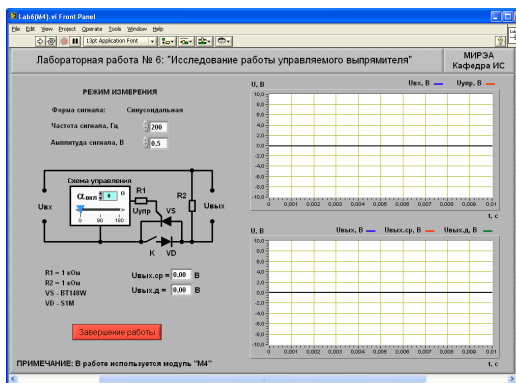
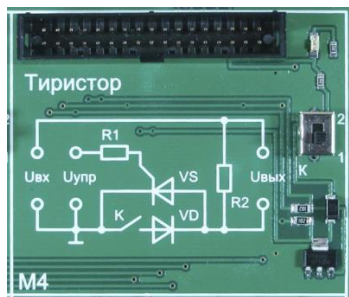
- лабораторная станция NI ELVIS II
- лабораторный модуль M4

**Задание:** Проанализируйте работу схемы тиристорного выпрямителя определите зависимость выходного напряжения от угла управления

#### 5. Порядок выполнения.

5.1. Установите ключ в разъем модуля M4 лабораторного стенда

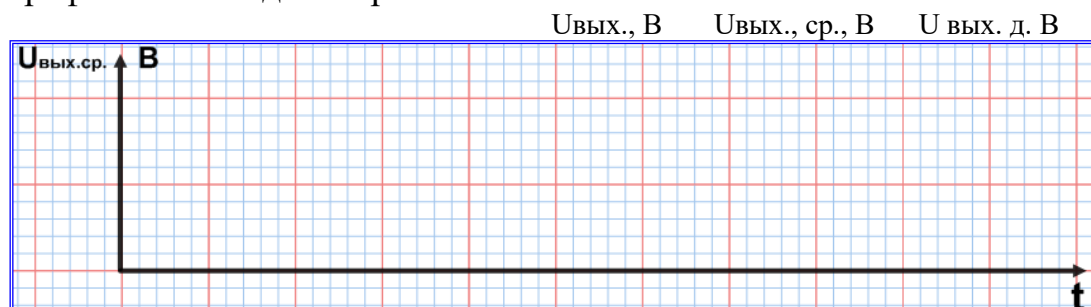
5.2. Загрузите и запустите программу **Lab6(M4).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП необходимого для выполнения лабораторного задания.



5.3. Установите переключатель «К» модуля М4 в положение «1».

5.4. С помощью элементов управления на лицевой панели ВП выберите режим измерения. Установите частоту входного сигнала **200 Гц**. Амплитуду сигнала на входе установите такой величины, чтобы сигналы на осциллограммах не имели видимых искажений и были удобны для наблюдения и измерений.

5.5. С помощью ползункового регулятора схемы управления установите задержку импульсов управления относительно начала положительного полупериода входного сигнала, соответствующую углу включения тиристора, равному примерно  $90^\circ$ . На верхнем графическом индикаторе можно наблюдать изображение входного сигнала  $U_{вх}(t)$  (синий цвет) и импульсов управления  $U_{упр}(t)$  (красный цвет), на нижнем – выходное напряжение на нагрузке  $U_{вых}(t)$  (синий цвет) и средний уровень этого напряжения  $U_{вых.ср}$  (красный цвет). Скопируйте изображения обоих графических индикаторов в отчет

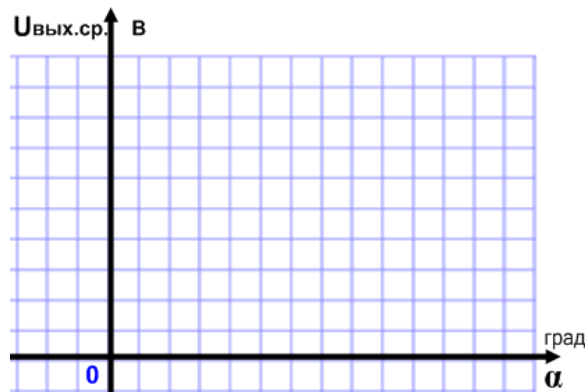


5.6. Получите регулировочную характеристику управляемого выпрямителя. Для этого, изменяя угол включения тиристора в диапазоне от  $\lambda_{MIN}$ , до  $\lambda_{MAX}$  получите не менее 10 отсчетов среднего значения выходного напряжения по цифровому индикатору  $U_{вых.ср}$ . Полученные значения занесите в таблицу 1.

табл.1

$\alpha$										
$U_{вых.ср.}$										

5.7. Постройте график зависимости среднего значения выходного напряжения схемы от угла включения тиристора.



5.9. Запишите выводы по проведенным исследованиям и ответьте на контрольные вопросы.

### 6. Указания к выполнению отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему и цель работы, перечень используемого оборудования, задание и порядок выполнения
2. Осциллограммы напряжений
3. Таблицу с результатами измерений
4. Регулировочную характеристику
5. Выводы по проведенным исследованиям
6. Ответы на контрольные вопросы

### 6. Контрольные вопросы

1. Какие выпрямители называются управляемыми?
2. В чем отличие управляемых выпрямителей от неуправляемых?
3. Что такое угол управления (регулирования) тиристора?
4. Что называют регулировочной характеристикой тиристора?

### 8. Список литературы

1. Электронная техника: учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2023г. электронный портал znanium.
2. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.— М.: «Академия», 2020г.
3. Миловзоров О.В. Основы электроники: Учебник для СПО / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков.- М.: Юрайт, 2021.- 344с.
4. Руководство пользователя NI ELVIS II. Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий. Издательство - NATIONAL INSTRUMENTS, 2008.

## Практическая работа №1

Тема: СРАВНЕНИЕ ЦИМС РАЗЛИЧНЫХ СЕРИЙ ПО ПАРАМЕТРАМ

**1. Цель работы:** Научиться определять параметры логических ИМС по справочной литературе, сравнивать БЛЭ по быстродействию, помехоустойчивости, нагрузочной способности, потребляемой мощности и другим параметрам, приобретение навыков анализа работы принципиальных схем БЛЭ интегральных микросхем.

**2. Время выполнения работы – 2 час.**

**3. Краткие теоретические сведения**

**2. Задание:** Сравнить ЦИМС по быстродействию, помехоустойчивости, нагрузочной способности, потребляемой мощности, проанализировать работу электрических принципиальных схем

**3. Порядок выполнения**

3.1. Получите вариант задания у преподавателя

3.2. Составьте таблицу справочных данных для заданных ИМС

*Таблица 1*

Параметры	Тип, логика, серия		
	ТТЛШ	ЭСЛ	КМОП
	ИМС:	ИМС:	ИМС:
Рпотр, мВт			
U вых. по 1, В			
U вых. по 0, В			
I вх. по 0, мА			
I вх. по 1, мА			
U пит., В			
К раз.			
T ср. зад. р., нс			
U пом. ст., В			
F max, МГц			

3.3. Начертите УГО логических элементов и таблицы истинности заданных микросхем.

3.4. Начертите электрические схемы БЛЭ заданных ИМС.

3.5. Опишите принцип работы электрических схем БЛЭ заданных ИМС в виде таблицы состояний элементов схем.

3.6. Начертите корпуса микросхем и расшифруйте условные обозначения (маркировку) этих корпусов.



3.7. Сделайте выводы по быстродействию, помехоустойчивости, нагрузочной способности, потребляемой мощности изученных микросхем и ответьте на контрольные вопросы.

#### **4. Указания к оформлению отчета**

Отчет должен содержать:

- тему и цель работы, задание и порядок выполнения.
- таблицу справочных данных для заданных ИМС и выводы по быстродействию, помехоустойчивости, нагрузочной способности, потребляемой мощности.
- УГО логических элементов и таблицы истинности заданных микросхем.
- электрические схемы БЛЭ заданных ИМС и таблицы, отражающие принцип их работы.
- корпуса микросхем с расшифровкой их маркировки.
- 

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Дайте характеристику логическим функциям И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, исключающее ИЛИ, И-НЕ. Напишите математическое уравнение функции.

2. Что собой представляет таблица истинности? Напишите таблицу истинности для двухвходового элемента И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ и т.д.

3. Расскажите об основных характеристиках и параметрах ЛЭ: передаточной функции,  $K_{разв}$ ,  $U_{пом}$ ,  $P_{потр}$ .

4. Сравните по помехоустойчивости, среднему времени задержки распространения, потребляемой мощности ТТЛШ, ЭСЛ КМОП.

5. Дайте расшифровку обозначениям ИМС Вашего задания.

#### **6. Список литературы**

1. Горошков Б. И., Горошков А. Б. Электронная техника.– М.: «Академия», 2011.

2. Колпакова Т. И., Калиенко И. В. Методическое пособие «Логические элементы», РГКРИПТ, 2012 г.

6. Берикашвили В.Ш. Черепанов А.К. «Электронная техника.– М.: «Академия», 2009г.

## Приложение А

ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ	ОБОЗНАЧЕНИЕ
И	ЛИ
ИЛИ	ЛЛ
И-НЕ	ЛА
ИЛИ-НЕ	ЛЕ
ИЛИ-НЕ, ИЛИ	ЛП
НЕ	ЛН
И-ИЛИ-НЕ	ЛР
ИЛИ-НЕ/ИЛИ	ЛМ
И-ИЛИ	ЛС
И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ	ЛК
РАСШИРИТЕЛИ	ЛД

## Приложение Б

### Сравнительные характеристики серий логических микросхем

Сравнительные характеристики основных параметров ТТЛ и КМОП серий представлены в табл. Б1 и на рис. Б1.

Высокое быстродействие в сочетании с низкой потребляемой мощностью, большой нагрузочной способностью, широкий набор логических и интерфейсных микросхем серии КР1533 позволяет создавать вычислительные устройства цифровой автоматики с качественно новыми характеристиками и высокими технико-экономическими показателями.

Для наглядности типовые значения времени задержки распространения и потребляемой мощности в пересчете на логический вентиль для различных отечественных серий микросхем приведены ниже (на графике приведены значения статической

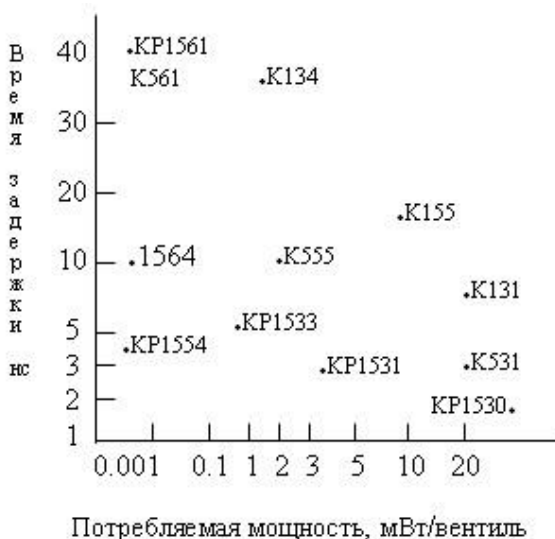


Рис. Б1

потребляемой мощности с учетом ее слабой зависимости от частоты для данных серий, за исключением КМОП серии КР1554).

Существенной особенностью серии КР1533 является наличие интерфейсных и буферных микросхем, обладающих повышенной нагрузочной способностью по выходу в состоянии высокого и низкого уровня ( $I_{OH} = 15 \text{ mA}$ ,  $I_{OL} = 24 \text{ mA}$ ) и меньшей в сравнении с серией КР1531 мощностью потребления при практически сравнимом быстродействии. Микросхемы серии КР1533, имеющие функциональные аналоги в других сериях, совпадают с ними в части разводки выводов в корпусе. Это позволяет проводить полную замену микросхем серий К555, К533, К155, КР1531 и добиваться уменьшения размеров блоков питания, уменьшения рассеиваемой мощности и повышения надежности.

Микросхемы серии КР1554, обладая всеми преимуществами КМОП микросхем, превзошли новейшие серии

ТТЛ ИС по быстродействию и нагрузочной способности по выходу, что позволит разработчикам аппаратуры существенно улучшить технические и технико-экономические характеристики разрабатываемых изделий.

### Сравнительные характеристики серий логических микросхем

Таблица Б1

Наименование параметра	Обознач.	K555	KP1533	KP1561	1564	KP 1554	Ед.изм
				K561			
Технология		ТТЛШ	ТТЛШ	КМОП	КМОП	КМОП	
Диапазон напряжения питания	U <sub>cc</sub>	5+5%	5+10%	3,0...15	2,0...6,0	2,0...6,0	В
Входное напряжение	U <sup>1</sup> <sub>вх.</sub>	2,0	2,0	3,15	3,15	3,15	В
	U <sup>0</sup> <sub>вх.</sub>	0,8	0,8	0,9	0,9	1,35	
Выходное напряжение	U <sup>1</sup> <sub>вых.</sub>	2,7	2,7	U <sub>cc</sub> -0.1	U <sub>cc</sub> -0.1	U <sub>cc</sub> -0.1	В
	I <sup>0</sup> <sub>вых.</sub>	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	
Входной ток	I <sup>1</sup> <sub>вх.</sub>	20	20	+0,3	+0,1	+0,1	мкА
	I <sup>0</sup> <sub>вх.</sub>	-400	-200	-0,3	-0,1	-0,1	
Выходной ток	I <sup>1</sup> <sub>вых.</sub>	-0,4	-0,4	-0,44	-4,0	-24	мкА
	I <sup>0</sup> <sub>вых.</sub>	8,0	8,0	0,44	4,0	24	
Запас помехоустойчивости	U <sub>пом ст</sub>	0,7	0,7	1,25	1,25	1,25	В
Мощность потр. на вентиль (статическая)	P <sub>потр.</sub>	2,0	1,2	0,0025	0,0025	0,0025	мВт
Частота переключения	F <sub>max</sub>	33,0	50,0	8,0	50,0	150,0	МГц
Время задержки распространения	Т.з.р.	10,0	5,0	40,0	10,0	4,0	нс
				160,0			

**Примечания:**

1 Статические параметры представлены для диапазона температур.

2 Значения параметров I<sub>в</sub>, P<sub>в</sub>, Э, F<sub>макс</sub>, рассчитаны по типовым значениям.

3 Значения параметров t<sub>p</sub> представлены для K555 при U<sub>cc</sub>=5.0 В, C<sub>L</sub>=15нФ, для KP1533, 1564, KP1554 - при U<sub>cc</sub>= 5.0 В ± 10%, C<sub>L</sub>=50нФ, типовое значение - при 25°C, максимальное значение для KP1533 - в диапазоне от -10 до +70°C, максимальное значение для KP1554 - в диапазоне от -45 до +85°C.

Таблица Б.2

## Основные параметры серий ИМС

Технологии	Серии ИМС	Рпотр, мВт	Тер. з. р., нс	F max, МГц	U пит., В	U лог1, В	U лог0, В	I вх.1, mA	I вх. 0, mA	К раз.	U пом. ст., В
ТТЛШ	K555	2	10	15	5±0.25	2,0	0,5	-2,4	0,4	30	0,5
	533	2	9,5	45		2,4	0,4	-0,1	0,02	20,40	0,8
	530	19	5	125		2,0	0,8	-0,6	0,02	30	0,8
	KP1531	4	3	130		8,2	0,3	-0,001	0,001	15	0,1
	1530	19	2,5	50		7,2	2,9			15	
	KP1533	1	4	70...10		3,15	0,9			15	0,8
	1531	4	2	130		2,4	0,4			5...10	1,25
КМОП	K176	0,03	200	2	9(9...12)	3,15	0,9			15	0,8
	564	0,06	150	4	9(3...15)	-0,7...-	-1,6...-			15	1,25
	1564	0,0024	10	50	5(2..6)	1,0	1,9	-0,1	0,1	30-50	1,25
	1554	0,04	4	150	5(3,3...5.5)					30-50	1,25
	561	0,0024	50	5	5(3...15)					15	0,8
						4,8	0,9				
ЭСЛ	K500	25	2	200	-5,2±0.25	-0,98	-1,63	0,0005	0,265	15	0,1
	K1500	40	0.75	200	-4,5±0.25	-1,03	-1,61	0,0005	0,35		0,1
	K100	25	2	200	-5,2±0.25	-0,98	-1,63				0,1
	193	100		200...2000	+5,2±0.25						

Корпуса серий ТТЛШ  
 К555, КМ555, КР1531: 201.14-1; 201.14-3;  
 201.401-8  
 1533, КР1533: 201.14-1

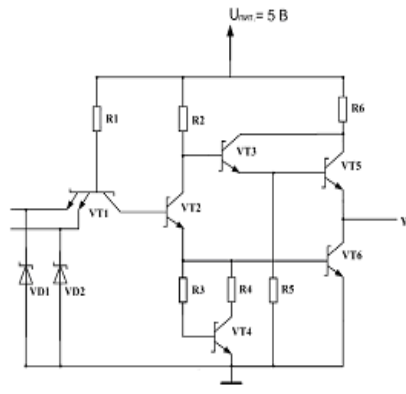
Корпуса серий КМОП  
 К561, 564: 201.14-1; 201.14-6  
 КР1561: 201.14-3; 201.14-8  
 КР1554: 201.14-1  
 КР1564: 201.14-2

Корпуса серий ЭСЛ: 402.16-6; 402.16-32  
 буква М: 238.16-2; 201.16-2  
 буква Т: 210.16-8

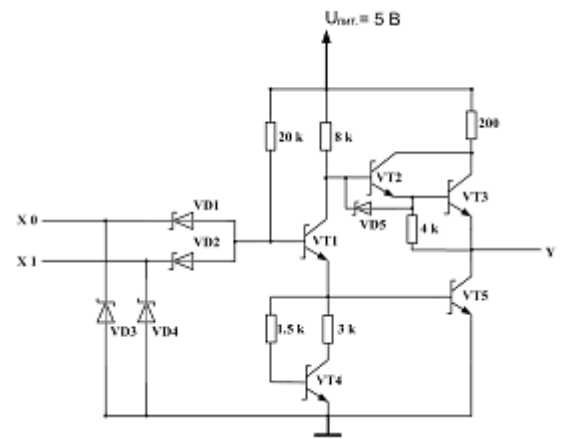
Приложение В

Электрические схемы базовых логических элементов

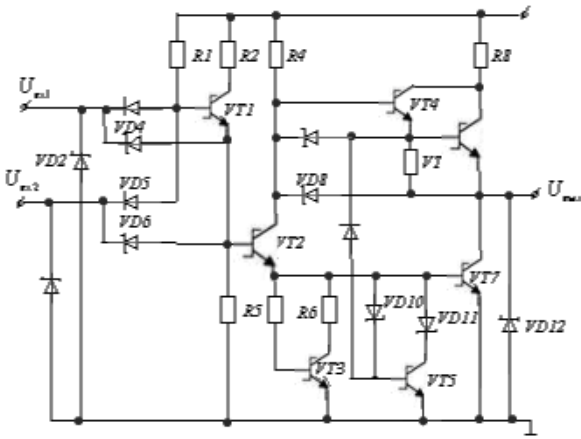
Электрическая схема элемента И-НЕ ТТЛШ (ИС 530, 531, КМ530, КМ531, КР531)



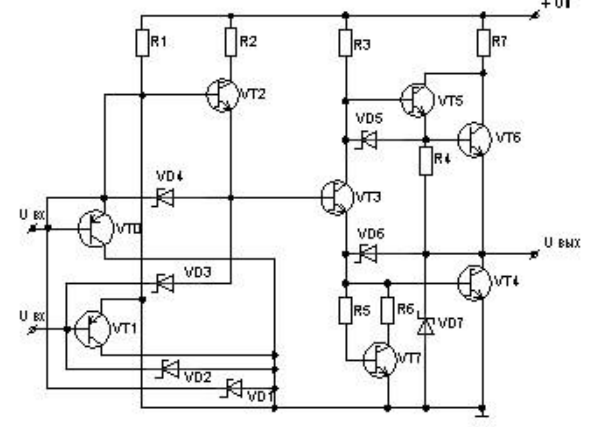
Электрическая схема элемента И-НЕ ТТЛШ (ИС 555, 533, К533, КМ555, К555)



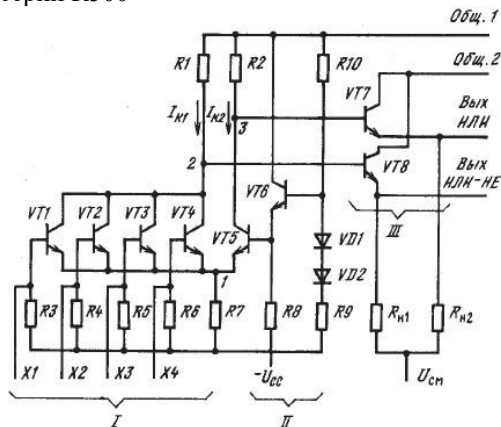
Электрическая схема базового элемента серии КР1531



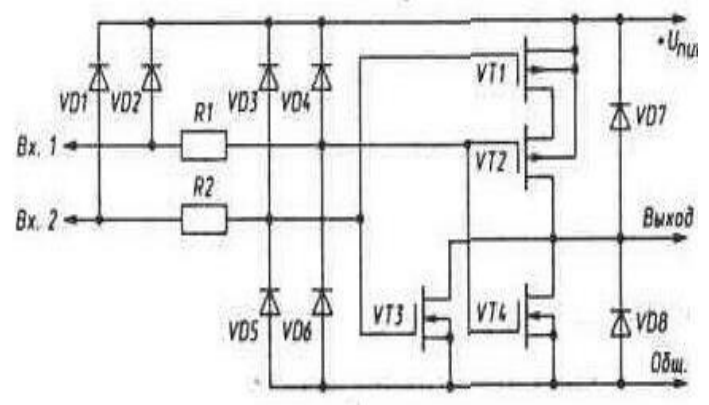
Электрическая схема базового элемента серии КР1533



Электрическая схема базового элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ серии К500

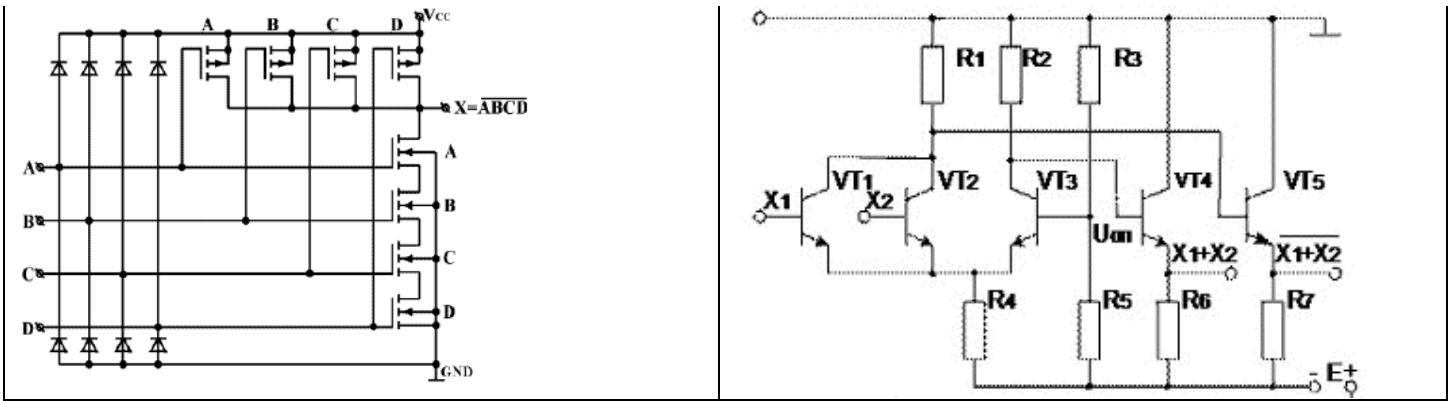


Электрическая схема базового элемента ИЛИ-НЕ К564



Электрическая схема базового элемента И-НЕ серии 1561

Электрическая схема базового элемента серии К1500



Приложение Г

Таблица Г

1-ИМС серий ТТЛШ К555, КМ555, 1531, КР1531, 1533, КР1533

Функциональное назначение	Условное обозначение	Номер рисунка
Два ЛЭ И-НЕ	ЛА1	Г1
Четыре ЛЭ 2И-НЕ	ЛА3	Г2
Три ЛЭ 3И-НЕ	ЛА4	Г3
Два ЛЭ 4И-НЕ с ОК	ЛА7	Г4
Четыре ЛЭ 2И-НЕ с ОК	ЛА8	Г5
Четыре ЛЭ 2И-НЕ с ОК	ЛА9	Г6
Три ЛЭ 3И-НЕ с ОК	ЛАЮ	Г7
Четыре буферных элемента 2И-НЕ с ОК	ЛА13	Г8
Два ЛЭ 4И-НЕ(Z)	ЛА 17	Г9
Четыре ЛЭ 2ИЛИ-НЕ	ЛЕ1	ГШ
Четыре ЛЭ 2И	ЛИ1	Г11
Три ЛЭ 3И	ЛИЗ	Г12
Четыре ЛЭ 2ИЛИ	ЛЛ1	Г13

Условные графические обозначения серий ТТЛШ

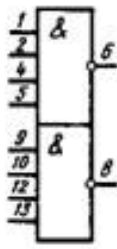


Рис. Г1

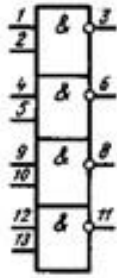


Рис. Г2

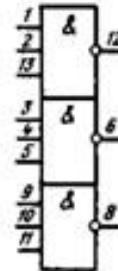


Рис. Г3

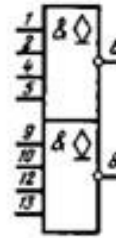


Рис. Г4



Рис. Г5

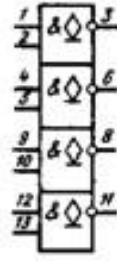


Рис. Г6

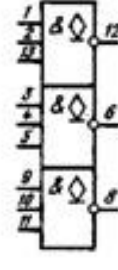


Рис. Г7

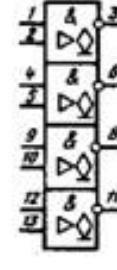


Рис. Г8

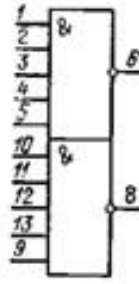


Рис. Г9

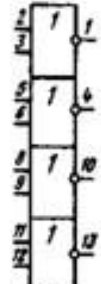


Рис. Г10

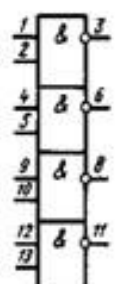


Рис. Г11

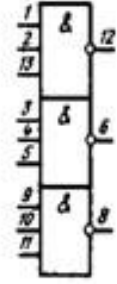


Рис. Г12

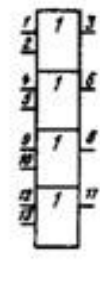


Рис. Г13

## Приложение Д

ИМС серий ЭСЛ 100, К100, 500, К500, 1500, К1500

Таблица Д1

Функциональное назначение	Условное обозначение	Номер рисунка
ДгалЭ2ИЛИ-НЕ и ЛЭ 4ИЛИ-НЕ	ЛЕ106	Д1
Три ЛЭ ИЛИ-НЕ с мощным выходом	ЛЕ123	Д2
Три ЛЭ ИЛИ-НЕ с мощным выходом (быстродействующие магистральные усилители)	ЛЕ211	Д3
Два ЛЭ 2-3 ИЛИ-2И/ЗИЛИ-2И-НЕ	ЛК117	Д4
ЛЭ 3-3-3-4 ИЛИ-4И-НЕ/ 3-3-3-3 ИЛИ-4И	ЛК121	Д6
Два ЛЭ ИЛИ с мощным выходом	ЛЛ210	Д6
Четыре ЛЭ 2ИЛИ-НЕ/2ИЛИ	ЛМ101	Д7
Четыре ЛЭ 2ИЛИ-НЕ и ЛЭ 2ИЛИ-НЕ/2ИЛИ	ЛМ102	Д8
Два ЛЭ 2ИЛИ-НЕ/2ИЛИ и ЛЭ 3ИЛИ-НЕ/ЗИЛИ	ЛМ105	Д9

Два ЛЭ 5ИЛИ-НЕ/5ИЛИ и 4ИЛИ-НЕ/4ИЛИ	ЛМ109	Д10
Три ЛЭ ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ/ИЛИ	ЛП107	Д11
Четыре приемника с линии	ЛП115	Д12
Три приемника с линии	ЛГИ 16	Д13
Три приемника с линии	ЛП216	Д14
Два ЛЭЗ-ЗИЛИ-2И	ЛС118	Д15
ЛЭЗ-3-3-4ИЛИ-4И	ЛС119	Д16

### Условные графические изображения логических элементов ЭСЛ

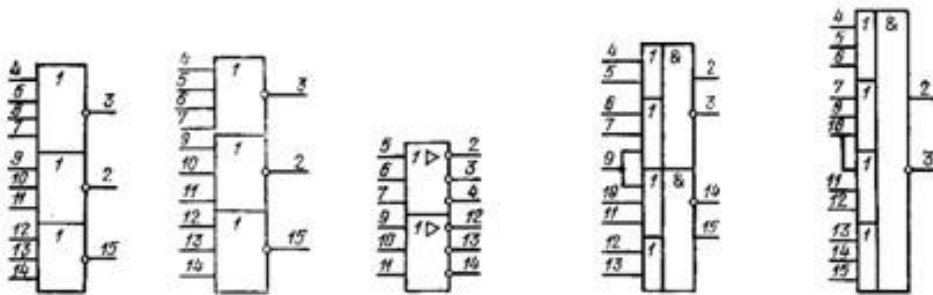


Рис. Д1

Рис. Д2

Рис. Д3

Рис. Д4

Рис. Д5

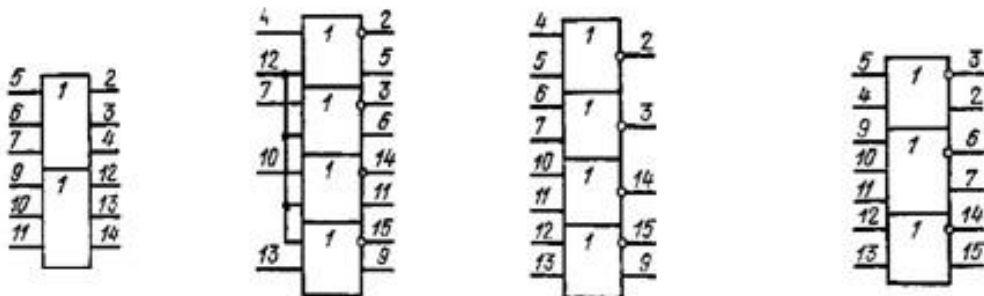


Рис. Д6

Рис. Д7

Рис. Д8

Рис. Д9

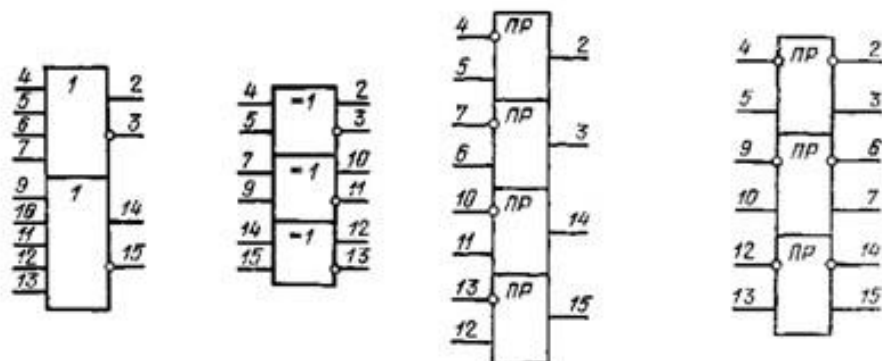




Рис. Д10

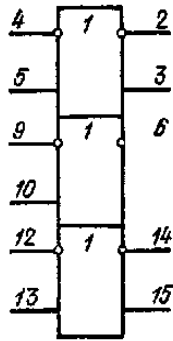


Рис. Д14

Рис. Д11

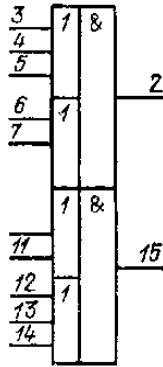


Рис. Д15

Рис. Д12

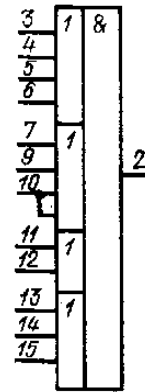


Рис. Д16

Рис. Д13

Приложение Е

Таблица Е.1

ИМС серий КМОП 561, К561, 564, К564, К1554, КР1554, К1561, 1564

Функциональное назначение	Условное обозначение	Номер рисунка
Два ЛЭ 4И-НЕ	ЛА1	Е1
Четыре ЛЭ 2И-НЕ	ЛА3	Е2
Три ЛЭ 3И-НЕ	ЛА4	Е3
Четыре ЛЭ 2И-НЕ	ЛА7	Е4
Два ЛЭ 4И-НЕ	ЛА8	Е5
Три ЛЭ 3И-НЕ	ЛА9	Е6
Четыре ЛЭ 2ИЛИ-НЕ	ЛЕ1	Е7
Четыре ЛЭ 2ИЛИ-НЕ	ЛЕ5	Е8
Два ЛЭ 4 ИЛИ-НЕ	ЛЕ6	Е9
Три ЛЭ 3 ИЛИ-НЕ	ЛЕ10	Е10
Четыре ЛЭ 2И	ЛИ1	Е11
Три ЛЭ 3И	ЛИ3	Е12
Шесть ЛЭ НЕ	ЛН2	Е13
Четыре ЛЭ 2 ИЛИ	ЛЛ1	Е14
Четыре ЛЭ ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ	ЛП2	Е15
Два ЛЭ 3ИЛИ-НЕ и ЛЭ НЕ	ЛП4	Е16
Три ЛЭ 3И-ИЛИ	ЛС1	Е17

Условные графические изображения логических элементов КМОП

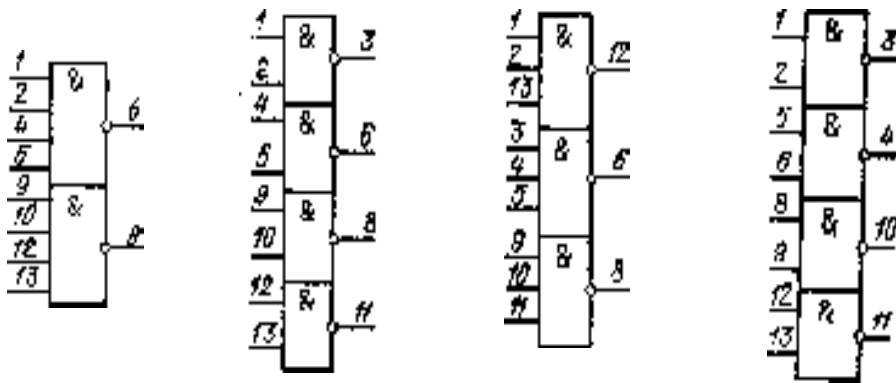


Рис. E1



Рис. E2

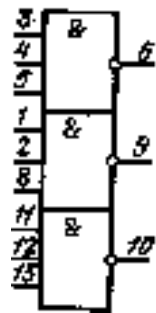


Рис. E3



Рис. E4



Рис. E5

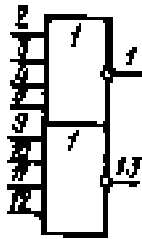


Рис. E6

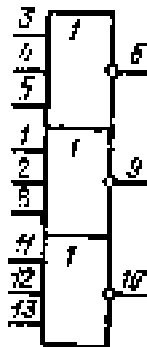


Рис. E7

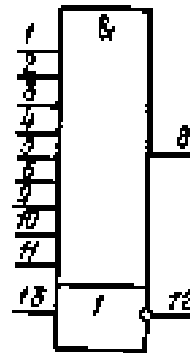


Рис. E8

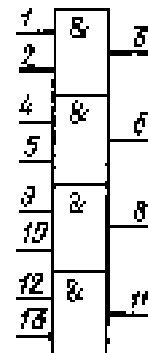


Рис. E9

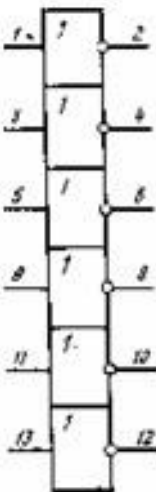


Рис. E10



Рис. E11

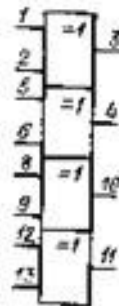


Рис. E16

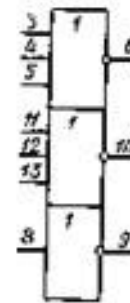


Рис. E12

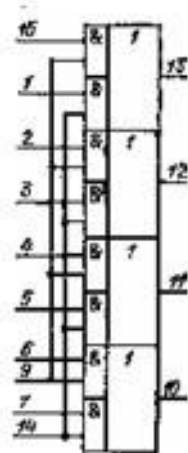


Рис. E13

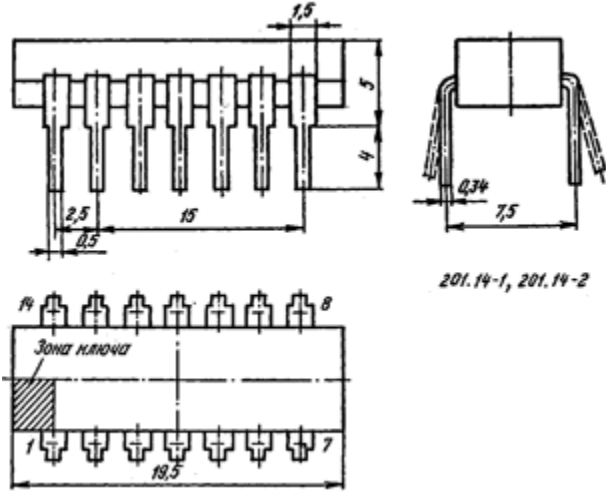
Рис. E14

Рис. E15

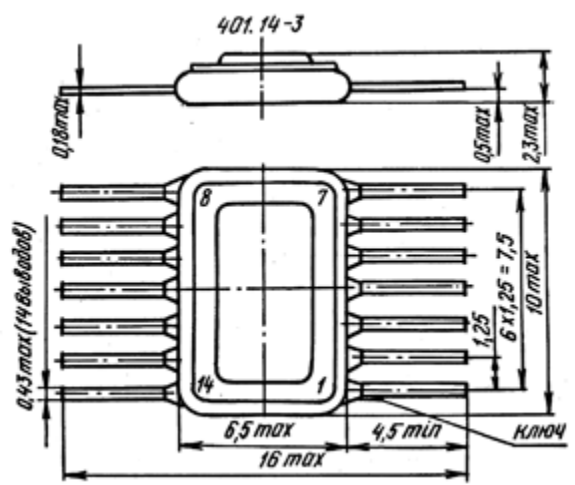
Рис. E17

Приложение Ж  
КОРПУСА ИМС

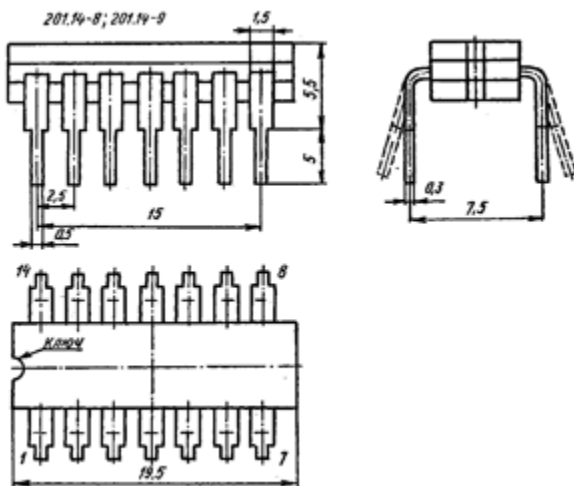
201.14-1



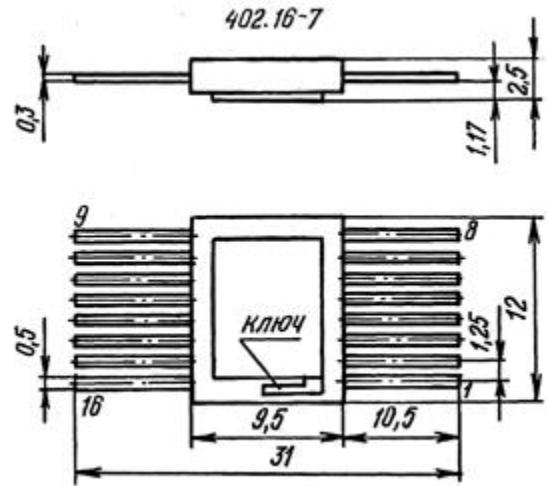
201.14-3



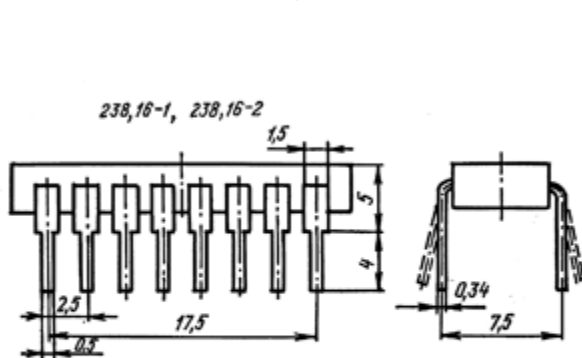
201.14-8, 201.14-9



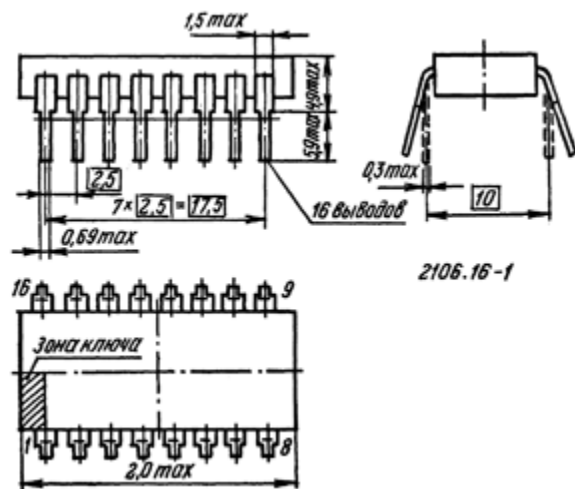
402.16-6, 402.16-7



238.16-1, 238.16-2



210.16-8





## ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

№	ТТЛ, ТТЛШ	ЭСЛ	КМОП	КМОП(2)
1	К1533ЛА8	-	КР1564ЛА4	КР1554ЛА1
2	К1533ЛА1	К500ЛК117	-	
3	К531ЛА13	-	К561ЛЕ5	
4	-	К500ЛЕ211Т	К561ЛЕ10	
5	К531ЛА1	-	КР1554ЛА3	К561ЛЕ10
6	-	К100ЛМ105	КР1564ЛА4	КР1554ЛА4
7	К531ЛА17	К500ЛС118М	-	
8	-	К500ЛЕ123М	КР1554ЛЕ1	КР1554ЛП1
9	К555ЛА4	К500ЛС119М	-	
10	-	К100ЛМ109	К176ЛА7	КР1554ЛА4
11	-	1500ЛП107	К1564ЛА4	
12	К555ЛП1	-	К561ЛА8	
13	-	К500ЛК121	К1564ЛП1	
14	К1531ЛА1	-	К561ЛЕ10	КР1554ЛП1
15	К1533ЛЕ1	К500ЛЕ211Т	-	
16	К1531ЛА3	-	К564ЛА9	КР1554ЛЕ5
17	-	К500ЛЛ210Т	К564ЛА7	
18	К1531ЛЕ1	-	К1564ЛП1	
19	-	К1500ЛС118	К1561ЛЕ6	
20	К1533ЛП1	-	К1564ЛП4	
21		1500ЛП115	1546ЛЕ1	КР1554ЛП3
22	1531ЛА1		КР1561ЛЕ5	
23		К1500ЛК117	1564ЛЕ6	
24	1531ЛА4		КР1561ЛЕ10	КР1554ЛП1
25		К500ЛЕ211Т	К564ЛП3	
26	1533ЛА4		1564ЛА4	
27		К1500ЛМ101	1564ЛП3	КР1554ЛП2
28	КР1531ЛП3		К564ЛС1	
29		К100ЛМ102	1564ЛП1	КР1554ЛП4
30	КР531ЛА7	К1500ЛЕ106		