

 СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого» МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ КОЛЛЕДЖ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ Учебно-методическая документация
---	---

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ОП 02. ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Специальности:

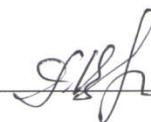
11.02.11 Сети связи и системы коммутации

Квалификация выпускника: техник

Разработчик: Большакова Е. Б., преподаватель

Методические рекомендации приняты на заседании предметной (цикловой) комиссии дисциплин профессионального цикла специальности 11.02.11 Сети связи и системы коммутации колледжа протокол № 1 от 18.09.2017 г.

Председатель предметной (цикловой) комиссии



Г. В. Цыбульская

Содержание

Пояснительная записка.....	4
Тематический план	5
Содержание лабораторных работ.....	11
Лабораторная работа №1	11
Лабораторная работа №2.....	17
Лабораторная работа №3	26
Лабораторная работа №4.....	33
Лабораторная работа №5.....	42
Лист регистрации изменений.....	51

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению лабораторных работ, являющиеся частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Электронная техника» составлены в соответствии с:

1. Федеральным государственным образовательным стандартом по специальности среднего профессионального образования (далее - СПО) 11.02.11 Сети связи и системы коммутации.
2. Рабочей программой учебной дисциплины
3. Положением о планировании, организации и проведении лабораторных работ и практических занятий студентов, осваивающих основные профессиональные образовательные программы среднего профессионального образования в колледжах НовГУ.

Методические рекомендации включают 5 лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины в объёме 10 часов.

В результате выполнения лабораторных работ обучающийся должен:

уметь:

- рассчитывать параметры электронных приборов и электронных схем по заданным условиям;
- составлять и диагностировать схемы электронных устройств;
- работать со справочной литературой;

знать:

- технические характеристики полупроводниковых приборов и электронных устройств;
- основы микроэлектроники и интегральные схемы;

Критерии оценки:

В конце лабораторной работы студент получает дифференцированную оценку, учитывающую качество проведенной работы.

Оценка «5» - самостоятельное и уверенное применение знаний в практической деятельности, выполнение заданий воспроизводящего характера, правильное и точное выполнение и оформление отчетов.

Оценка «4» - применение знаний в практической деятельности, самостоятельное выполнение заданий воспроизводящего характера, с незначительной помощью преподавателя, точное выполнение и оформление отчетов с тремя-четырьмя недочетами.

Оценка «3» - недостаточная самостоятельность (учащийся нуждается в наводящих вопросах преподавателя) при применении знаний в практической деятельности, выполнение заданий воспроизводящего характера с помощью преподавателя, небрежное оформление отчета.

Оценка «2» - неумение применять знания в практической деятельности, учащийся не может самостоятельно выполнить задания, допущение логических ошибок при оформлении отчета

Тематический план и содержание учебной дисциплины

Электронная техника

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, самостоятельная работа обучающихся, курсовая работа (проект) (если предусмотрены)	Объем часов	Уровень освоения
1	2	3	4
Раздел 1. Физические основы электронной техники		22	
Тема 1.1. Электропроводность в полупроводниках.	1. Общие сведения о собственных полупроводниках. Собственная электропроводность полупроводников. 2. Понятие о примесных полупроводниках. 3. Электропроводность в примесных полупроводниках.	2 2 2	2
	Самостоятельная работа. Работа с учебником Горошков Б.И. «Электронная техника»: учебное пособие – М.: Академия , 2005- 314с.: Ил. По теме Электропроводность полупроводников.	10	
Тема 1.2. Образование и свойства р-п перехода.	1. Понятие о р-п переходе. Контактные явления в полупроводниках с различными типами проводимостями. 2. Прямое и обратное смещение р-п перехода. 3. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п перехода. Пробой р-п перехода.	2 2 2	2.3

Раздел 2. Полупроводниковые приборы		68	
Тема 2.1. Полупроводниковые диоды	1. Классификация диодов, условные обозначения. Выпрямительные, германиевые и кремниевые диоды: Конструкция, принцип действия, параметры, характеристики.	2	2,3
	2. Полупроводниковые стабилитроны. Особенности конструкции и принцип действия стабилитронов. Параметры, вольт-амперная характеристика стабилитронов.	2	
	3. Другие типы полупроводниковых диодов: фотодиоды.	2	
	Лабораторная работа №1 «Исследование вольт-амперной характеристики выпрямительного диода».	2	
	Самостоятельная работа. Подготовка отчета по лабораторной работе №1.	6	
Тема 2.2. Транзисторы	1. Биполярный транзистор: условные обозначения, особенности конструкции, принцип действия биполярного транзистора.	2	2,3
	2. Параметры и характеристики биполярного транзистора. Схемы включения биполярного транзистора: с ОЭ, ОК и ОБ.	2	
	3. Усилительные свойства транзистора. Динамический режим работы транзистора.	2	
	4. Полевые транзисторы с р-n переходами.	2	
	5. Полевые транзисторы с изолированным затвором.	2	
	Лабораторная работа №2 «Снятие статистических характеристик биполярного транзистора».	2	
	Лабораторная работа №3 «Исследование работы полевого транзистора».	2	
	Самостоятельная работа. Оформление отчетов по лабораторным работам №2,3. Решение задач на расчет параметров полупроводниковых приборов.	10	
Тема 2.3. Тиристор	1. Тиристоры: классификация, условное обозначение, структура	2	2

	тиристора. 2. Принцип действия динистора.	2	
	Лабораторная работа № 4 «Исследование работы тиристора»	2	
	Самостоятельная работа. Оформление отчета по лабораторной работе №4	4	
Тема 2.4. Устройства отображения информации	1. Классификация устройств отображения информации. Общие светотехнические параметры.	2	2,3
	2. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. Светоизлучающие диоды: конструкция, принцип действия, параметры и характеристики.	2	
	3. Жидкокристаллические индикаторы	2	
	Самостоятельная работа. Подготовка рефератов о современных полупроводниковых приборах.	14	
Раздел 3. Основы микроэлектроники		6	
Тема 3.1. Интегральные микросхемы	1. Общие сведения об интегральных микросхемах (ИМС). Классификация ИМС по различным признакам.	2	2
	2. Полупроводниковые интегральные схемы.	2	
Тема 3.2. Функциональная микроэлектроника	1. Классификация интегральных микросхем по функциональному назначению и система их обозначений.	2	2,3
Раздел 4. Источники питания и преобразователи		10	
Тема 4.1. Электронные выпрямители	1. Структурная схема блока питания. Классификация выпрямителей, их параметры.	2	2,3
	2. Выпрямители: схемы электрические, характеристики.	2	
	3. Электронные фильтры.	2	
Тема 4.2. Электронные	1. Общие сведения о преобразователях, их назначения.	2	2,3

преобразователи, инверторы			
Тема 4.3. Защита электронных устройств	1. Стабилизаторы напряжения и токов.	2	2,3
Раздел 5 Аналоговые электронные устройства		20	
Тема 5.1. Показатели и характеристики аналоговых электронных устройств (АЭУ)	1. Аналоговые электронные устройства. Принципы построения схем. Параметры и характеристики.	2	2
Тема 5.2. Обратная связь и ее влияние на характеристики АЭУ	1. Обратная связь в электронных устройствах. Положительная и отрицательная обратная связь (ОС) и ее влияние на характеристики устройства. Применение различных видов ОС.	2	2
Тема 5.3. Электронные усилители	1. Общие принципы построения схем электронных усилителей.	2	2,3
	2. Схема усилительного каскада на биполярном транзисторе. Многокаскадные усилители. Виды связей между каскадами.	2	
	3. Усилители напряжения. Операционные усилители. 4. Усилители мощности.	2 2	
	Лабораторная работа №5 «Исследование отрицательной обратной связи в электронных устройствах»	2	
	Самостоятельная работа. Оформление отчета по лабораторной работе № 5	6	

Раздел 6. Импульсные устройства		8	
Тема 6.1. Общая характеристика импульсных электронных устройств.	1. Преимущества импульсного режима. Параметры импульсных сигналов.	2	2,3
Тема 6.2 Устройства формирование импульсов	1. Электронные ключи на биполярных транзисторах. 2. Электронные ключи на полевых транзисторах. 3. Дифференцирующие CR-цепи. 4. Интегрирующие RC-цепи	3 3	2,3
Раздел 7. Цифровые электронные схемы.		16	
Тема 7.1. Основные типы базовых логических элементов	1. Классификация основных типов базовых логических элементов. 2. Параметры цифровых интегральных схем.	2	2,3
Тема 7. 2. Логические элементы, их параметры и характеристики.	1. Электронно-логические схемы операция «НЕ», «ИЛИ», «И». 2. Логические схемы диодно-транзисторной логики 3. Логические схемы транзисторно-транзисторной логики.	2 2 2	2,3
Тема 7. 3. Особенности применения цифровых интегральных схем при разработки цифровых	1. Устройства на основе цифровых интегральных схем. 2. Триггеры, счетчики, шифраторы, дешифраторы. 3. Мультиплексоры, микроконтроллеры. 4. Программируемые логические интегральные схемы.	2 2 2 2	2,3

устройств			
Всего:		<i>150</i>	

Для характеристики уровня освоения учебного материала используются следующие обозначения:

1. – **ознакомительный** (узнавание ранее изученных объектов, свойств);
2. – **репродуктивный** (выполнение деятельности по образцу, инструкции или под руководством)
3. – **продуктивный** (планирование и самостоятельное выполнение деятельности, решение проблемных задач)

Содержание лабораторных работ
Раздел 2. Полупроводниковые приборы
Тема 2.1. Полупроводниковые диоды
Лабораторная работа №1

«Исследование вольт-амперной характеристики выпрямительного диода».

Объем учебного времени – 2 часа.

Цель работы – снятие вольт-амперных характеристик и определение параметров кремниевого диода.

Студенты должны знать:

- конструкцию и принцип действия выпрямительного диода;
- особенности построения прямой и обратной ветви вольтамперной характеристики выпрямительного диода;
- технику безопасности при работе в лаборатории полупроводниковых приборов.

Студенты должны уметь:

- собирать принципиальные электрические схемы для снятия прямой и обратной ветви вольтамперной характеристики п/п диода;
- пользоваться применяемым оборудованием;
- работать с нормативными документами, справочниками, технической литературой;
- строить прямую и обратную ветви ВАХ диода;
- делать выводы по результатам исследований.

Оборудование: Стенд ЭТ-01, Сменный блок «полупроводниковый диод и стабилизатор».

Техника безопасности

В лаборатории полупроводниковых приборов учащиеся должны соблюдать правила:

1. Перед выполнением работы все приборы заземлить и убедиться в наличии заземления лабораторного стенда.
2. Собирать электрические схемы при отключении источника питания.
3. Собранный схема должна быть проверена преподавателем или лаборантом.
4. При всех изменениях в схемах (замена деталей, устранение неисправностей), источники питания должны быть отключены.
5. При смене деталей и при изменении положения различных элементов схемы запрещено свободной рукой касаться неизолируемых мест шасси, труб парового отопления.
6. Разбирать схему в конце работы можно только с разрешения преподавателя и при выключении всех источников питания.

Основные теоретические положения

Полупроводниковые диоды

Диод представляет собой пассивный нелинейный элемент. Он содержит p - n -переход и имеет два вывода от p и n областей. На условном обозначении (рис. 1.1, а) направление стрелки диода совпадает с направлением прямого тока.

Работа полупроводникового диода в электрической схеме определяется его вольт-амперной характеристикой (ВАХ) рис. 1.1. б).

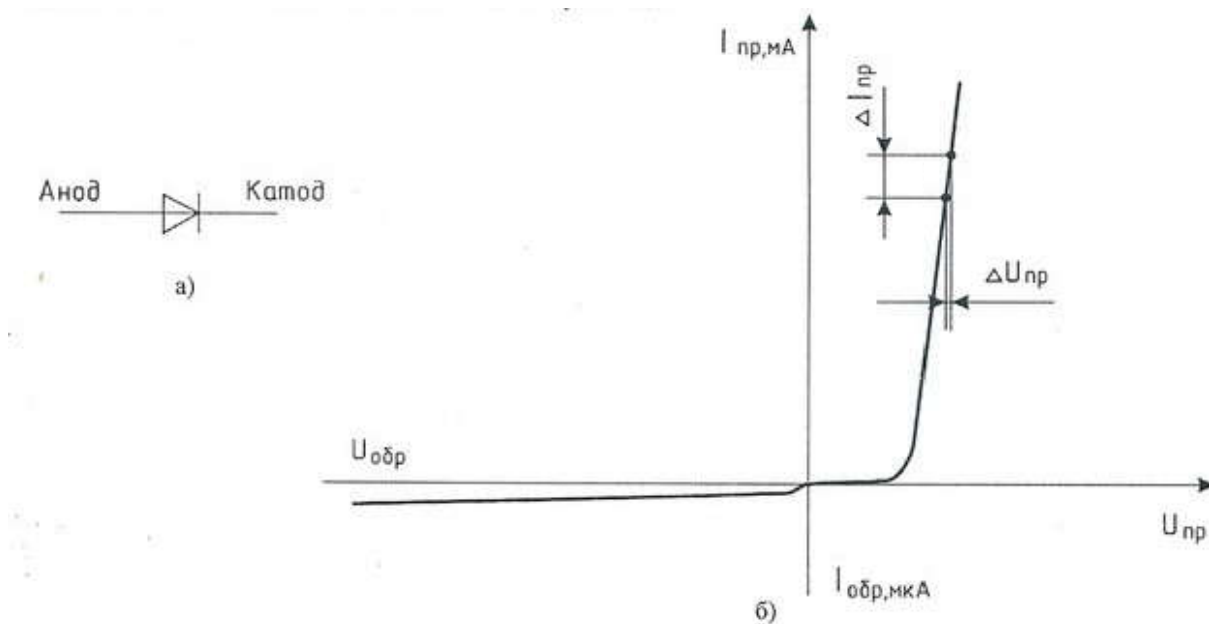


Рис. 1.1. Условное обозначение а) и вольт-амперная характеристика б) полупроводникового диода

Если через диод, в направлении от анода к катоду, протекает прямой ток величиной 10 мА, то анод более положителен, чем катод. Эта разница напряжений называется прямым напряжением диода. Чаще всего падение напряжения на диоде, обусловленное прямым током через него, составляет от 0,5 до 0,8 В. Таким падением напряжения можно пренебречь, и тогда диод можно рассматривать как проводник, пропускающий ток только в одном направлении.

Обратный ток для диодов общего назначения измеряется в наноамперах и его, как правило, можно не принимать во внимание до тех пор, пока напряжение на диоде не достигнет значения напряжения пробоя. Обычно, на диод падают такое напряжение, которое не может вызвать пробой. Исключение составляют только стабилитроны.

Таким образом, основными параметрами диодов являются:

- *Постоянное прямое напряжение при определенном для каждого диода постоянном прямом токе;*
- *Постоянный обратный ток $I_{обр}$ при определенном постоянном обратном напряжении;*
- *Максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{обр. макс}$;*
- *Максимально допустимый постоянный $I_{пр. макс}$ прямой ток.*

Основные электрические параметры диода КД521А

Постоянное прямое напряжение $U_{пр}$

При $I_{пр} = 50\text{мА}$ не более 1 В

Постоянный обратный ток $I_{обр}$

При $U_{обр} = U_{обр.макс}$ не более 1 мкА

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{обр.макс}$ 75 В

Максимально допустимый постоянный $I_{пр.макс}$ или средний $I_{пр.ср.макс}$ прямой ток 50мА

Задание:

- установить сменный модуль «полупроводниковый диод и стабилитрон».
- Снять прямую ветвь ВАХ полупроводникового диода
- Снять обратную ветвь ВАХ полупроводникового диода
- Обработать результаты эксперимента
- Ответить на контрольные вопросы

Порядок выполнения работы

1. установка сменного модуля «полупроводниковый диод и стабилитрон».

Модуль «Полупроводниковые диод и стабилитрон»

Схема модуля «Полупроводниковые диоды и стабилитроны» приведены на рис. 1.3. Элементы усилителя на сменном модуле №1 имеют следующие параметры:

VD1, VD4 – диоды КД521А;

VD2, VD3 - стабилитроны КС156А;

Прямую ветвь ВАХ диода снимают, включив испытуемый диод в схему, показанную на рис. 1.4,а.

Прямой ток через диод задается источником тока ИТ, характерной особенностью которого является слабая зависимость выходного тока от сопротивления нагрузки.

Плавное увеличение от нуля выходного тока источника тока ИТ, измеряются прямое напряжение $U_{пр}$ диода для ряда значений прямого тока $I_{пр}$.

Обратную ветвь ВАХ диода снимают, включив испытуемый диод в схему, показанную на рис. 1.4,б.

Плавное увеличение от нуля выходное напряжение источников напряжения ИН1 и ИН2, измеряют обратный ток $I_{обр}$ диода для ряда значений обратного напряжения $U_{обр}$.

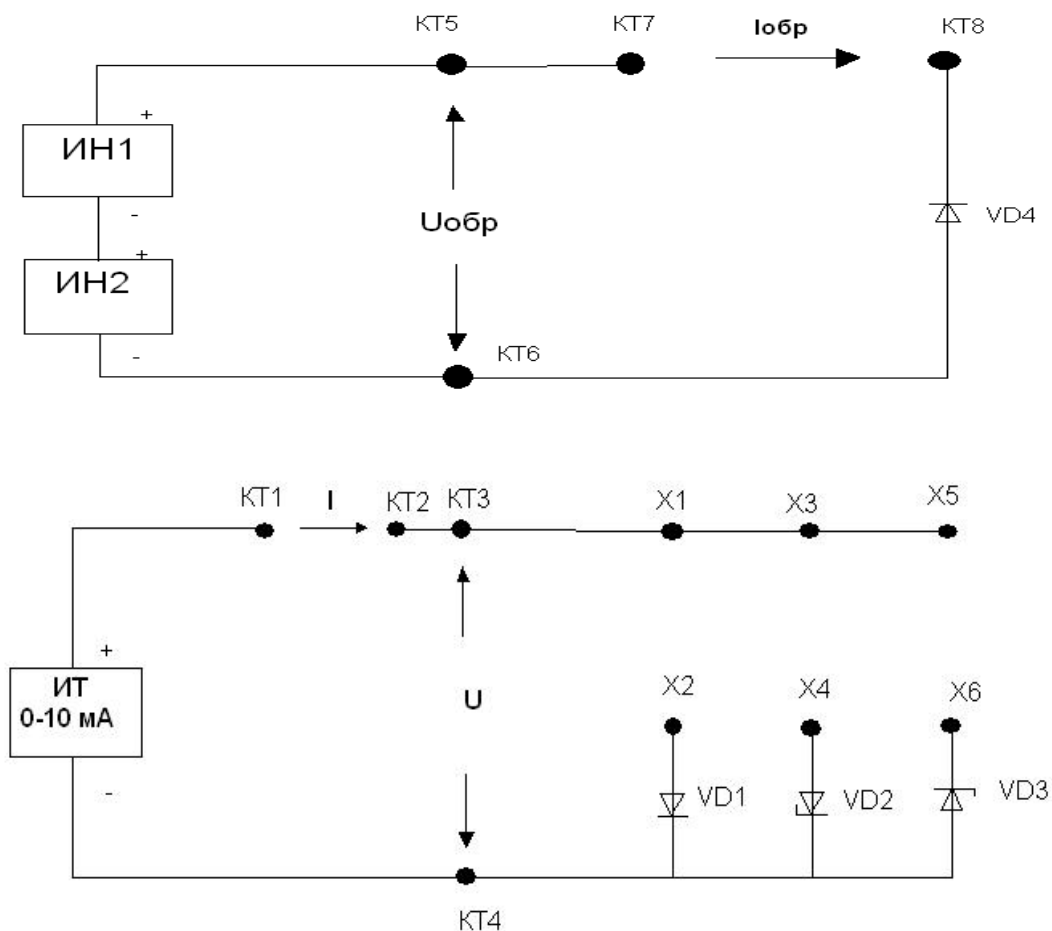
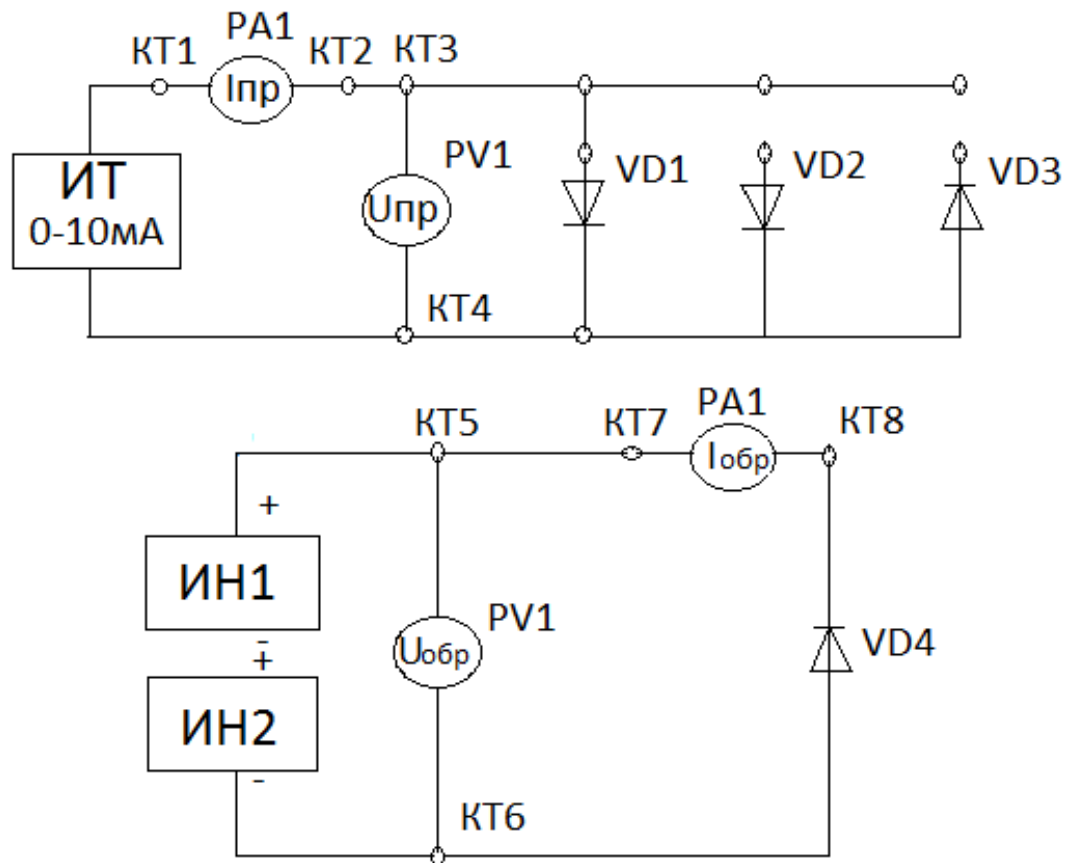


Рис. 1.3. Схема модуля «Полупроводниковые диод и стабилитрон»

2. Снятие прямой ветви ВАХ полупроводникового диода

- 2.1 Подключаем встроенные в стенд амперметр для измерения прямого тока и вольтметр для измерения прямого напряжения диода. Устанавливаем переключатель диапазонов измерения амперметра в положение **мА**. Подключаем перемычкой диод VD1.
- 2.2 После проверки правильности подключения приборов преподавателем включаем питание стенда выключателем **СЕТЬ**.
- 2.3 Включаем источник тока ИТ и подключенные к схеме измерительные приборы.
- 2.4 Регуляторами **ГРУБО** и **ТУРБО** источника тока ИТ устанавливаем значения прямого тока. Для каждого значения тока снимаем соответствующие значения прямого напряжения и заносим их в таблицу.
- 2.5 Выключаем источник тока ИТ и подключенные измерительные приборы.

Прямой ток , мА	0,1	0,2	0,5	1	5	10
Прямое напряжение , В	0,46	0,49	0,53	0,57	0,65	0,68



3. Снятие обратной ветви ВАХ полупроводникового диода

3.1 Подключаем встроенные в стенд амперметр для измерения обратного тока и вольтметр для измерения обратного напряжения диода. Устанавливаем переключатель амперметра в положение **мкА**.

3.2 Включаем источники напряжения ИН1 и ИН2 и подключенные к схеме измерительные приборы.

3.3 Регуляторами **ГРУБО** и **ТУРБО** источников напряжения ИН1 ИН2 устанавливаем значения обратного напряжения . Для каждого значения напряжения снимаем соответствующие значения обратного тона и заносим их в таблицу. Если амперметр показывает нулевое значение обратного тока, то запишите в таблицу, что $< 0,1$ мкА.

3.4 Выключаем источники напряжения ИН1 и ИН2 и подключенные к схеме измерительные приборы.

Обратное напряжение , В	1	5	10	20	30
Обратный ток , мА	$< 0,1$	$< 0,1$	$< 0,1$	$< 0,1$	$< 0,1$

4. Обработка результатов эксперимента

- 4.1. Используя данные таблицы 1.1 и таблицы 1.2 постройте графики прямой и обратной ветвей ВАХ полупроводникового прибора. Они имеют вид, представленный на рисунке 1.1б
- 4.2. Сравните полученные значения прямого напряжения $U_{пр}$ и обратного тока $I_{обр}$ со справочными.
- 4.3. Определите динамическое сопротивление на одном из участков прямой ветви ВАХ полупроводникового диода, используя выражение (1.6) и рис. 1.1
- 4.4. Рассчитайте теоретическую величину динамического сопротивления на этом участке ВАХ, используя выражение (1.9). Сравните теоретическое и реальное значения динамического сопротивления диода.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуются полупроводниковые диоды?
2. Почему для диодов используется динамическое, а не статическое сопротивление?
3. Одинокое ли сопротивление диода при прямом и обратном смещении?
4. Какими параметрами характеризуются полупроводниковые приборы?
5. Какого назначения выпрямительных диодов?

Форма контроля - письменный отчет.

Список рекомендуемой литературы:

1. Горошков Б. И. Электронная техника : Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2012.-2005. - 320 с.-61 экз.

Раздел 2. Полупроводниковые приборы

Тема 2.2. Транзисторы

Лабораторная работа №2

«Снятие статических характеристик биполярного транзистора».

Объем учебного времени – 2 часа.

Цель работы - снятие и анализ входных и выходных ВАХ транзистора, включенного по схеме с ОЭ.

Студенты должны знать:

- принцип работы транзистора в статическом режиме;
- основные виды статических характеристик транзистора и их особенности;

Студенты должны уметь:

- собирать принципиальную электрическую схему для снятия входных и выходных статических характеристик транзистора, включенного по схеме с общей базой;
- пользоваться применяемым оборудованием;
- снимать семейство входных и выходных характеристик транзистора;
- делать выводы по результатам исследований.

Оборудование: Стенд ЭТ-01, Сменный блок «биполярный транзистор».

Техника безопасности

В лаборатории полупроводниковых приборов учащиеся должны соблюдать правила:

1. Перед выполнением работы все приборы заземлить и убедиться в наличии заземления лабораторного стенда.
2. Собирать электрические схемы при отключении источника питания.
3. Собранная схема должна быть проверена преподавателем или лаборантом.
4. При всех изменениях в схемах (замена деталей, устранение неисправностей), источники питания должны быть отключены.
5. При смене деталей и при изменении положения различных элементов схемы запрещено свободной рукой касаться неизолируемых мест шасси, труб парового отопления.
6. Разбирать схему в конце работы можно только с разрешения преподавателя и при выключении всех источников питания.

Основные теоретические положения:

Типы биполярных транзисторов

Транзистор - это один из основных «активных» электронных компонентов. Биполярный транзистор состоит из двух р-п-переходов, образованных слоями полупроводников с

примесями. На рис. 2.1 показана самая простая конструкция n - p - n -транзистора и его условное обозначение.

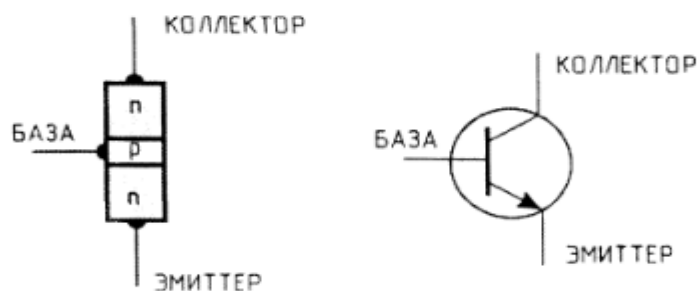
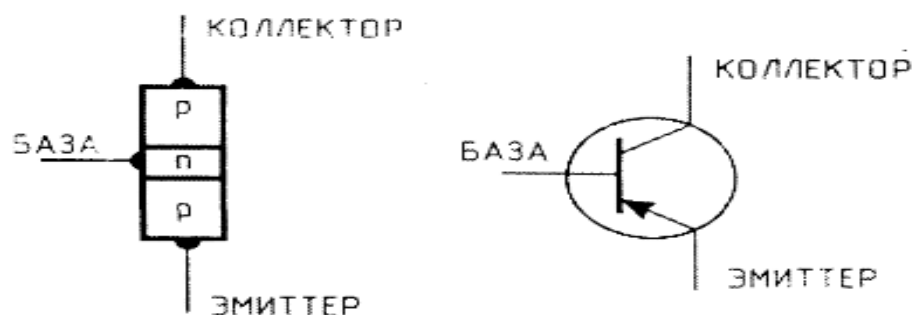


Рис. 2.1. Устройство n - p - n -транзистора и его условное обозначение

Транзисторы со структурой n - p - n типа наиболее распространены. Также имеются биполярные транзисторы p - n - p типа. Они обладают характеристиками, идентичными с n - p - n -транзисторами, но требуют напряжения питания противоположной полярности. На рис. 2.2 показана структура p - n - p транзистора и его условное обозначение.



Режимы работы транзисторов

В зависимости от выполняемых схемой функций транзистор может работать в трех режимах.

В активном режиме транзистор работает в усилителях, когда требуется усиление сигналов с минимальным искажением их формы. В активном режиме транзистор управляется в любой момент процесса усиления, т.е. каждому изменению входного сигнала соответствует изменение выходного.

В режиме насыщения сопротивления промежутка коллектор - эмиттер транзистора резко уменьшается. В этом режиме транзистор не управляется.

В режиме отсечки транзистор закрыт. В этом режиме он обладает большим сопротивлением.

Схемы включения биполярных транзисторов

При включении биполярного транзистора в электрическую схему образуется две цепи: управляющая и управляемая. В управляющей цепи действует входной сигнал, который обычно подают на базу или эмиттер. В управляемой цепи (коллекторной или эмиттерной) формируется выходной сигнал, поступающий затем на вход следующего каскада или в нагрузку. Третий электрод транзистора является общим для входной и выходной цепи.

Широко распространены три схемы включения транзисторов: с общей базой (рис. 2.3, а), с общим эмиттером (рис. 2.3, б) и с общим коллектором (рис. 2.3, в).

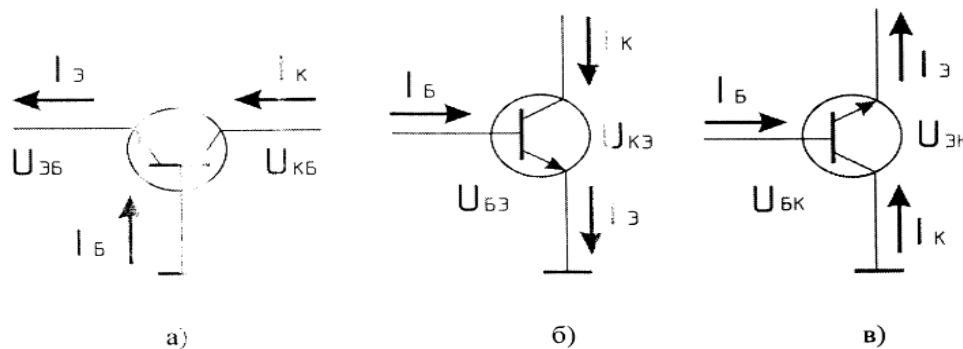


Рис. 2.3. Схемы включения транзисторов.

Вольт-амперные характеристики

Для понимания работ схем, в состав которых входят транзисторы, очень полезны их выходные и входные вольт-амперные характеристики (ВАХ). Схема для снятия ВАХ биполярного транзистора включенного по схеме общим эмиттером (ОЭ) приведена на рис. 1.4.

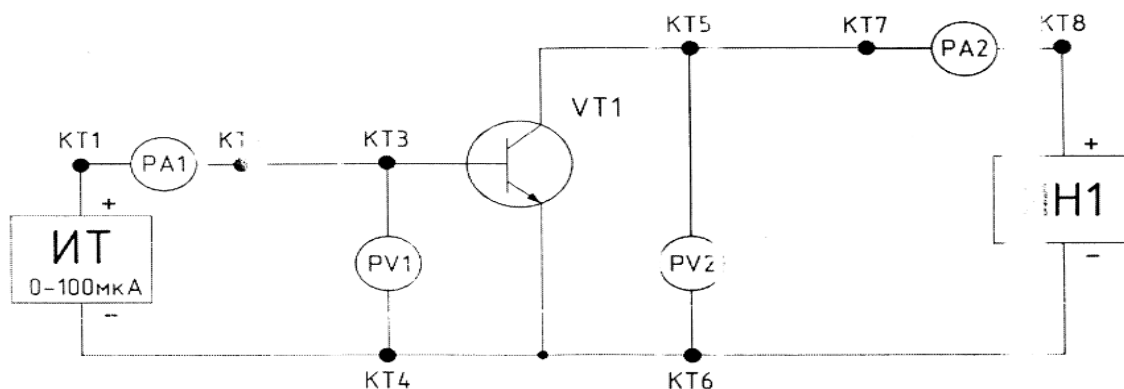


Рис. 2.4. Схема для снятия входных и выходных биполярного транзистора.

Входные характеристики транзистора показывают зависимости тока входного электрода от напряжения между ним и общим электродом при постоянном напряжении на выходном электроде. Для схемы с ОЭ это зависимость тока базы от напряжения между ней и эмиттером при постоянных напряжениях на коллектор; (рис. 2.5): $I_{\text{б}} = f(U_{\text{бэ}})$ при $U_{\text{к}} = \text{const}$.

В схеме с к эмиттерному переходу приложено прямое напряжение, поэтому при напряжении ($U_{\text{кэ}} = 0$) входная характеристика соответствует прямой ветви ВАХ полупроводникового диода. При увеличении напряжения входные характеристики смещаются вправо, что соответствует уменьшению тока базы.

Выходные характеристики транзистора показывают зависимость тока выходного электрода от напряжения между ним и общим электродом. Для схемы с ОЭ зависимости тока коллектора от напряжения между ним и эмиттером при постоянных токах базы: $I_{\text{к}} = f(U_{\text{кэ}})$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$.

Вид семейства выходных характеристик для различных значений базового тока $I_{\text{б}}$ показан на рис. 2.6.а.

Здесь видно, что с увеличением напряжения коллектор-эмиттер $U_{\text{кэ}}$ от нуля вначале происходит резкое нарастание коллекторного тока, пока $U_{\text{кэ}}$ не достигнет значения 0,6В. Дальнейшее увеличение $U_{\text{кэ}}$ незначительно влияет на ток коллектора $I_{\text{к}}$ и кривые становятся горизонтальными.

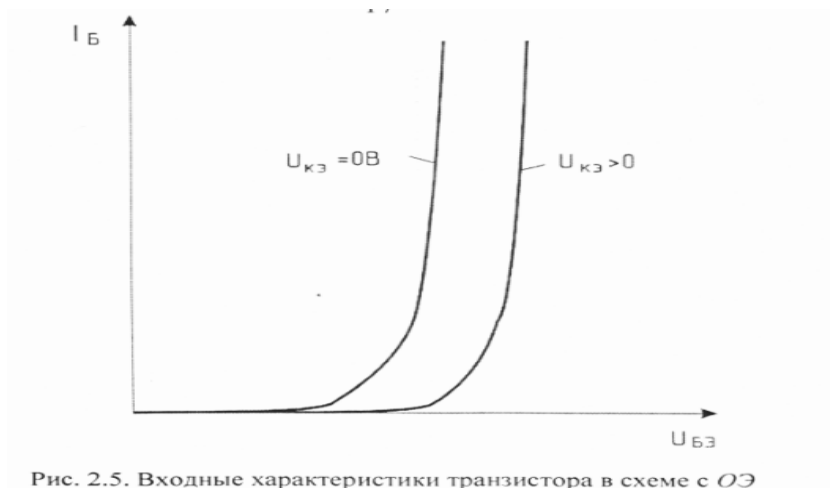


Рис. 2.5. Входные характеристики транзистора в схеме с ОЭ

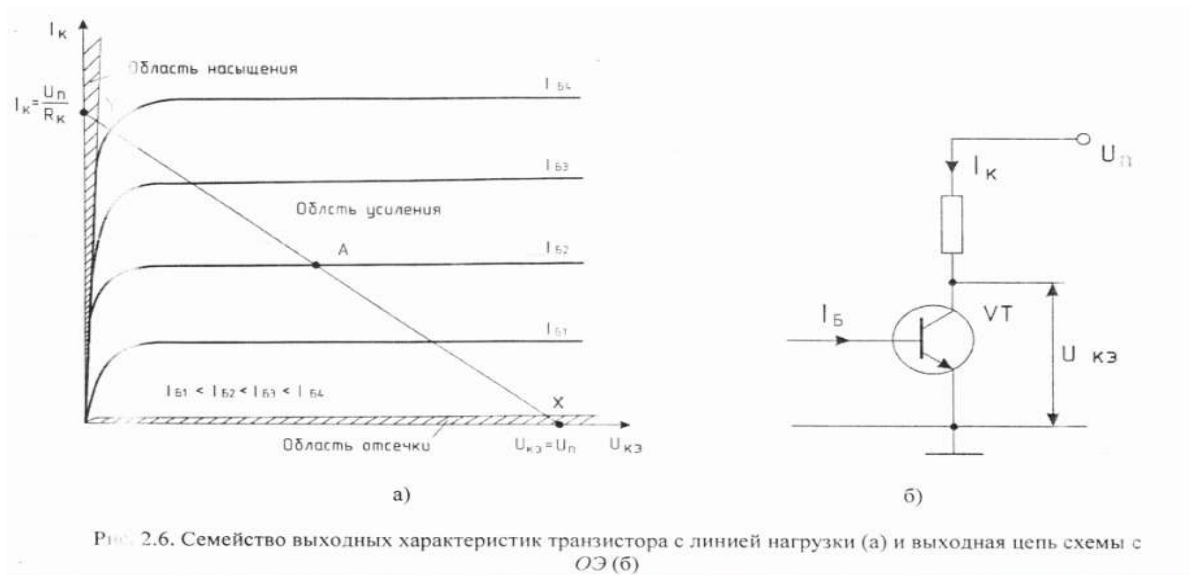


Рис. 2.6. Семейство выходных характеристик транзистора с линией нагрузки (а) и выходная цепь схемы с ОЭ (б)

Основные электрические параметры транзистора КТ503Е

Заряжение насыщения коллектор-эмиттер $U_{кэ\text{ нас}}$

При $I_k = 10\text{mA}$, $I_B = 1\text{mA}$

Не более 0,6 В тип. Значение 0,2В

Напряжение насыщения база-эмиттер $U_{кэ\text{ нас}}$

При $I_k = 10\text{mA}$, $I_B = 1\text{mA}$

не более 1,2 В тип. Значение 0,8В

Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$

При $U_{кэ} = 5\text{В}$, $I_k = 10\text{mA}$

40 ... 120

Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ\text{ макс}}$ 100В

Максимально допустимое постоянное напряжение база-эмиттер $U_{Бэ\text{ макс}}$

5В

Максимально допустимое постоянное ток коллектора $I_{к\text{ макс}}$

0,15А

Максимально допустимая постоянная ток базы $I_{Б\text{ макс}}$

0,1 А

Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора $P_{к\text{ макс}}$ 0,35Вт

Задание :

- установить сменный модуль «Биполярный транзистор».
- Снять входные характеристики транзистора.
- Снять выходные характеристики транзистора
- Обработать результаты экспериментов : занести данные эксперимента в таблицы 2.1 2.2 и построить характеристики
- Ответить на контрольные вопросы

Порядок выполнения работы

1. установка сменного модуля «Биполярный транзистор».

Модуль «Биполярный транзистор»

Схема модуля «Биполярный транзистор» приведена на рис.2.8

VT1-транзистор KE503E

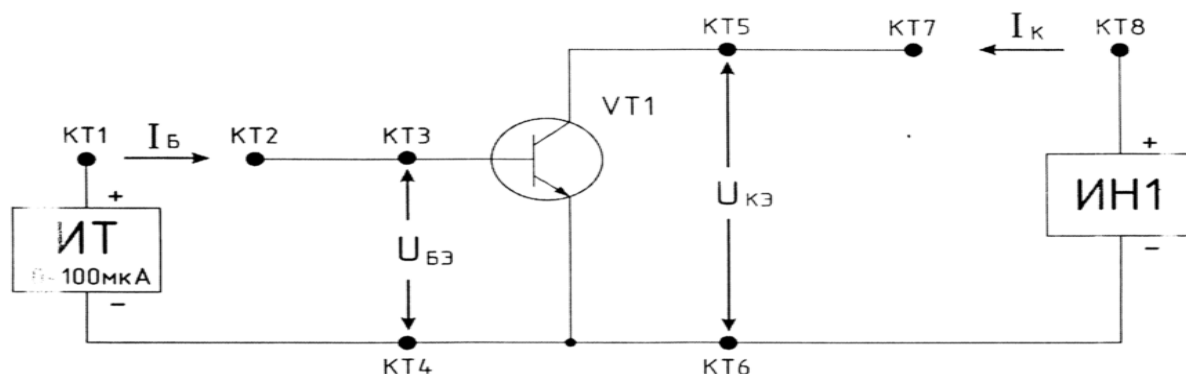


Рис.2.8. Схема модуля «Биполярный транзистор»

1.1 Зарисуйте схему для получения входных и выходных ВАХ транзистора(см.рис.2.4.).

1.2 Начертите табл.2.1 ... 2.4 для записи результатов исследований.

1.3 Установите выключатель СЕТЬ, выключатели всех источников сигналов и измерительных приборов в положение 0, регуляторы потенциометров всех источников в крайнее левое положение переключатель источника тока ИТ- в положение 0-100 мкА.

1.4 Подключите сменный модуль №2 к разъему базового блока.

1.5 Подсоедините шнур питания к разъему на задней стенке стенда и включите вилку питания в розетку электросети напряжением 220В.

Внимание!

Если показать на дисплей измерительного прибора не изменяются при изменении измеренной величины то выключите и снова включите его тумблером Вкл / Выкл.

Если при включении амперметра на его дисплее отображается АС (режим измерение переменного напряжения), то выключите и снова включите амперметр тумблером Вкл / Выкл для измерения постоянного по роду тока (дисплее должен отобразиться символ DC).

2. Снятие входных характеристик транзистора.

2.1 Для снятия входных ВАХ транзистора подключите встроенные в стенд приборы (см.рис.2.4):

РА1-микроамперметр для измерения тока базы I_B ;

PV1-вольтметр для измерения напряжения база-эмиттер $U_{Бэ}$;

PV2-вольтметр для измерения напряжения коллектора-эмиттер $U_{кэ}$;

PV2-миллиампертр для измерения тока коллектора I_k ;

2.2 После проверки правильности подключения приборов преподавателем включите питание стенда выключателем СЕТЬ.

2.3 Включите источник тока ИТ, источник напряжения ИН1 и подключенные к схеме измерительные приборы.

2.4 Установите регуляторы ГРУБО и ГРУБО источника напряжения ИН1 в крайние левые положения. Правом значение напряжения коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ примерно равно 0 В.

2.5 Регуляторная ГРУБО и ГРУБО источник тока ИТ устанавливайте значения тока согласно табл.2.1. Для каждого значения тока базы I_B снимайте соответствующие значения напряжения база-эмиттер $U_{Бэ}$ и заносите их в табл.2.1.

2.6 Установите поочередно значение напряжения коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ равным 1В и 10 В. Для каждого из этих напряжений снимите входную характеристику выполнив п.

2.7 Установите регуляторы ГРУБО и ГРУБО источника тока ИТ и источника напряжения в крайнее левое положение и выключите источники тока ИТ и напряжения ИН1.

Таблица 2,1

Ток базы, мкА		5	10	20	40	60	80
Напряжение база-эмиттер $U_{кэ}$, В при $U_{кэ}$, В	0						
	1						
	10						

3. Снятие выходных характеристик транзистора

3.1 Для снятия выходных ВАХ транзистора измерительные приборы должны быть подключены так же, как указано в п.п.2.1.

3.2 Включите источник тока ИТ, источник напряжения ИН1 и подключенные к схеме измерительные приборы.

3.3 Регуляторами ГРУБО и ГРУБО источника тока ИТ установите значение тока базы I_B равным 10 мкА.

3.4 Регуляторами ГРУБО и ГРУБО источника напряжения ИН1 устанавливайте значения напряжения коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ согласно табл. 2.2. Для каждого значения напряжения $U_{кэ}$ снимайте соответствующие значения тока коллектора I_k и заносите их в табл. 2.2.

3.5 Снимите остальные выходные характеристики для токов базы, указанных в табл. 2.2. выполняя п.п. 3.5.

3.6 Установите регуляторы ГРУБО и ГРУБО источников тока ИТ и напряжения ИН1 в крайнее левое положение и выключите источник тока ИТ источник напряжения ИН1 и подключенные к схеме измерительные приборы.

Таблица 2,2

Напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ}$, В		0,2	0,5	1	2	5	10
Ток коллектор I_k , мА при I_B мкА.	10						
	20						
	40						
	60						
	80						

4. Обработка результатов экспериментов

4.1 Используя данные табл. 2,1 и табл. 2.2 постройте графики семейств входных и выходных характеристик транзистора. Они имеют вид, представленный на рис. 2.5 и рис 2.6, а.

4.2 Постройте на семействе выходных характеристик линию нагрузки. Для этого примите напряжение питания схемы усилителя $U_{п} = 10В$ и отметьте точку X на графике характеристик (рис.2.9). Выберите оптимальное положение рабочей точки A (р.т.) с напряжением $U_{кэ \text{ р.т}} = U_{п} / 2 = 5 В$ на характеристике с током базы $I_B = 40 мкА$. Проведите через найденные точки X и A линию нагрузки до пересечения с осью тока коллектора I_k в точке Y. Так как в этом состоянии $I_k = U_{п} / R_k$. то рассчитайте сопротивление $R_k = U_{п} / I_k$. Занесите рассчитанную величину сопротивления R_k в табл. 2.3.

4.3 По графикам выходных характеристик (см. рис. 2,9) определите, какими будут изменения напряжения коллектор-эмиттер , при уменьшении и увеличении значения тока базы в рабочей точке I_B р.т. на 20 мкА. Занесите результаты в табл. 2.3 и сделайте вывод о линейности зависимости выходного напряжения $U_{кэ}$ от входного тока I_B при выбранном положении рабочей точки.

4.4 По графикам выходных характеристик определите, как показано на рис. 2.7 напряжение насыщения коллектор-эмиттер $U_{кэ \text{ нас}}$ при токе базы $I_B = 80 мкА$ и токе коллектора $I_k = 3 мА$ и занесите его значение в табл. 2.4. Сравните полученное значение со справочным. Проанализировав графики полученных выходных характеристик сделайте вывод, как напряжение насыщения $U_{кэ \text{ нас}}$ зависит от тока базы I_B .

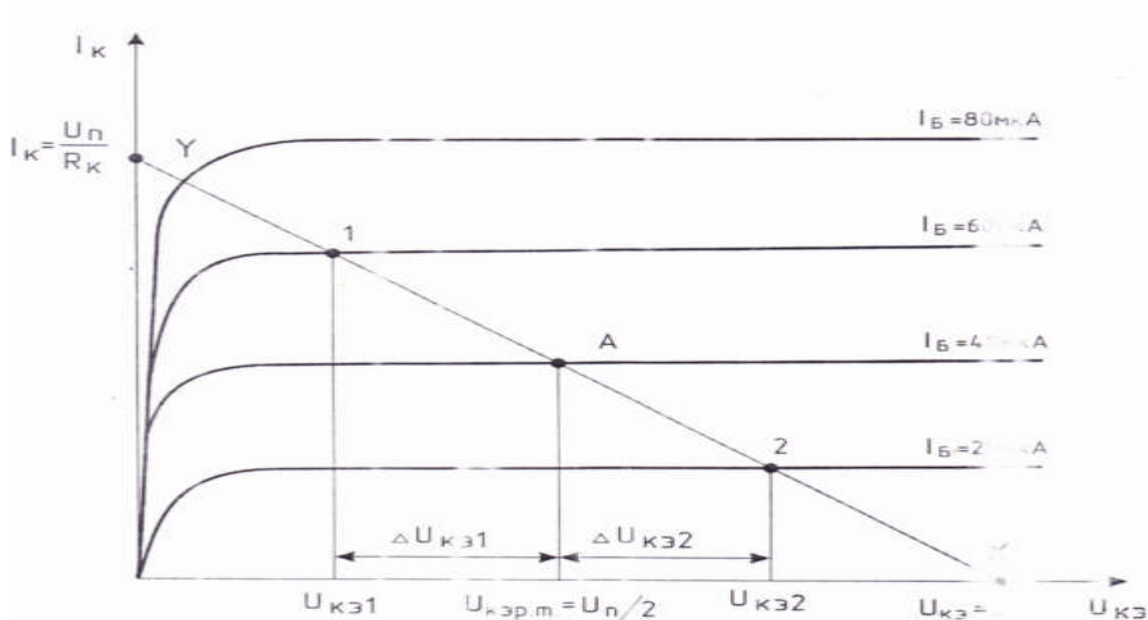


Рис. 2.9.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой входные и выходные ВАХ биполярных транзисторов?
2. Какими параметрами характеризуются биполярные транзисторы?
3. Какие параметры транзистора, включенного по схеме с ОЭ, характеризуют его рабочую точку?
4. Каковы особенности активного режима работы транзистора?
5. Как перевести транзистор в режим насыщения и в режим отсечки?

Форма контроля - письменный отчет.

Список рекомендуемой литературы:

1. Горошков Б. И. Электронная техника : Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2012.-2005. - 320 с.-61 экз.

Раздел 2. Полупроводниковые приборы

Тема 2.2. Транзисторы

Лабораторная работа №3

«Исследование работы полевого транзистора».

Объем учебного времени – 2 часа.

Цель работы - снятие стоко-затворных и стоковых характеристик полевых транзисторов с *p-n* переходом.

Студенты должны знать:

- конструкцию и принцип действия полевого транзистора;
- основные параметры полевого транзистора;
- виды полевых транзисторов.

Студенты должны уметь:

- собирать принципиальную электрическую схему для исследования стоковых характеристик транзистора;
- пользоваться применяемым оборудованием;
- работать с нормативными документами, справочниками, технической литературой;
- снимать стоковые, стоково-затворные и затворные характеристики транзистора;
- делать выводы по результатам исследований.

Оборудование: Стенд ЭТ-01, Сменный блок «полевой транзистор».

Техника безопасности

В лаборатории полупроводниковых приборов учащиеся должны соблюдать правила:

1. Перед выполнением работы все приборы заземлить и убедиться в наличии заземления лабораторного стенда.
2. Собирать электрические схемы при отключении источника питания.
3. Собранная схема должна быть проверена преподавателем или лаборантом.
4. При всех изменениях в схемах (замена деталей, устранение неисправностей), источники питания должны быть отключены.
5. При смене деталей и при изменении положения различных элементов схемы запрещено свободной рукой касаться неизолируемых мест шасси, труб парового отопления.
6. Разбирать схему в конце работы можно только с разрешения преподавателя и при выключении всех источников питания.

Основные теоретические положения

Типы полевых транзисторов

Полевые транзисторы, так же как и биполярные, имеют три вывода: исток, сток и затвор. Проводимостью канала сток-исток управляет электрическое поле, создаваемое приложенным к затвору напряжением. Здесь нет прямосмещенных *p-n* переходов, поэтому ток через затвор не течет, и это - наиболее важное преимущество полевых транзисторов перед биполярными. Получаемое, как следствие этого, высокое входное полное

сопротивление (оно может быть больше 10^4 Ом) существенно во многих применениях. Интегральные схемы на *МОП*-транзисторах революционизировали цифровую электронику. На малой площади в интегральной микросхеме может быть размещено большое число слаботочных полевых транзисторов. Поэтому они особенно полезны для создания больших интегральных схем (БИС), таких как микрокалькуляторы, микропроцессоры и устройства памяти. Плюс к тому появление сильноточных полевых транзисторов позволяет во многих случаях заменить биполярные транзисторы, зачастую получая более простые схемы с улучшенными параметрами.

Как и биполярные транзисторы, полевые транзисторы бывают двух полярностей: *n*-канальные (с проводимостью за счет электронов) и *p*-канальные (с дырочной проводимостью). Однако разнообразие полевых транзисторов этим не ограничивается, что может приводить к путанице. Во-первых, полевые транзисторы могут изготавливаться с затворами двух различных типов. В результате мы имеем полевые транзисторы с *p-n*-переходом и полевые транзисторы с изолированным затвором, так называемые *МОП*-транзисторы. Во-вторых, *МОП*-транзисторы бывают с двумя типами легирования канала. Это дает полевые транзисторы обогащенного и обедненного типа.

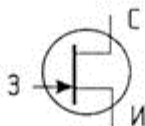
Несмотря на все обескураживающее разнообразие типов полевых транзисторов только пять из них реализованы на практике. А основной интерес представляют четыре случая из пяти. Это полевые транзисторы с *p-n*-переходом и обогащенные *МОП*-транзисторы. И те, и другие могут быть *n*-канальными, либо *p*-канальными. Поскольку *МОП*-транзисторы почти всегда обогащенные, а полевые транзисторы с *p-n*-переходом всегда обедненные, то будем далее опускать эти понятия.

Характеристики полевых транзисторов с *p-n*-переходом

У *МОП*-транзисторов затвор изолирован от проводящего канала тонким слоем окисла. В результате на затвор такого транзистора можно подавать напряжение любой полярности относительно истока. При этом через затвор не будет проходить никакой ток. Поэтому *МОП* транзисторы просты в применении.

В полевых транзисторах с *p-n* переходом затвор образует с расположенным под ним каналом полупроводниковый *p-n* переход. Следовательно, в полевом транзисторе с *p-n* переходом во избежание прохождения тока через затвор последний не должен быть смещен в прямом направлении относительно канала. Затвор работает будучи смещенным в обратном направлении по отношению к каналу и в цепи затвора нет никакого тока, кроме тока утечки. Условное обозначение *n*-канального полевого транзистора с *p-n* переходом изображено на рис. 3.5. а схема для снятия его характеристик - на рис. 3.6.

Рис.3.5. Условное обозначение *n*-канального полевого транзистора с *p-n*-переходом



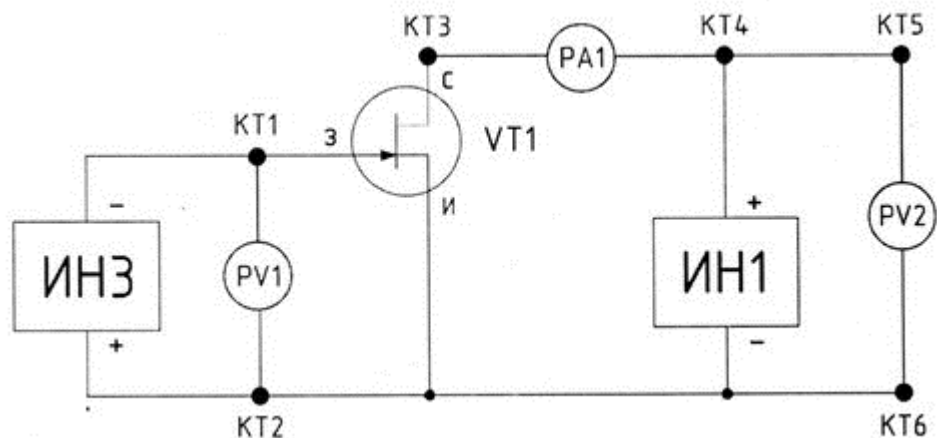


Рис.3.6. Схема для снятия характеристик n-канального полевого транзистора с р-п-переходом

Стоковые характеристики n-канального полевого транзистора с р-п-переходом (рис.3.7) также имеют две области: линейную – А и насыщения – В.

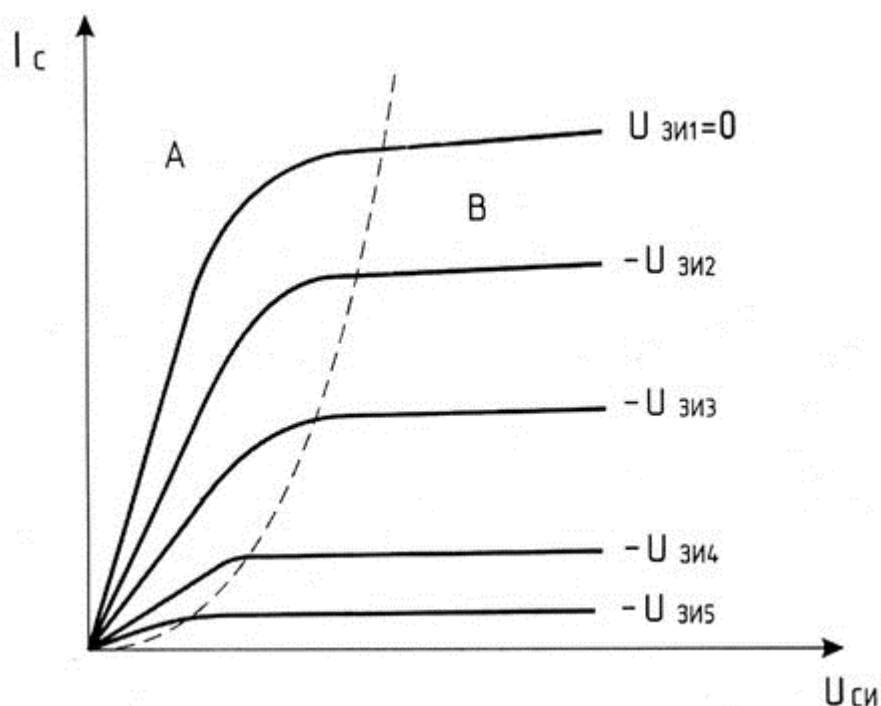


Рис.3.7. Стоковые характеристики n-канального полевого транзистора с р-п-переходом; А- область переменного сопротивления, В- область насыщения.

График стоко-затворной характеристики n-канального полевого транзистора с р-п-переходом (рис.3.8) поможет уяснить его отличие от n-канального МОП-транзистора. МОП-транзистор не проводит ток, пока потенциал затвора не станет положительным по отношению к истоку ($U_{зи} > 0$). Наоборот, ток стока полевого транзистора с р-п-переходом будет равен максимальному при потенциале затвора равном потенциалу истока ($U_{зи} = 0$). Этот ток называется начальным током стока $I_{с\text{ нач}}$. Для получения нулевого тока стока затвор должен иметь обратное смещение, которое называется напряжением отсечки $U_{зи.отс}$ на практике зафиксировать величину напряжения $U_{зи.отс}$ очень трудно, поэтому за напряжение отсечки принимает величину напряжения затвора-исток при котором ток с тока достигает заданного низкого значения.

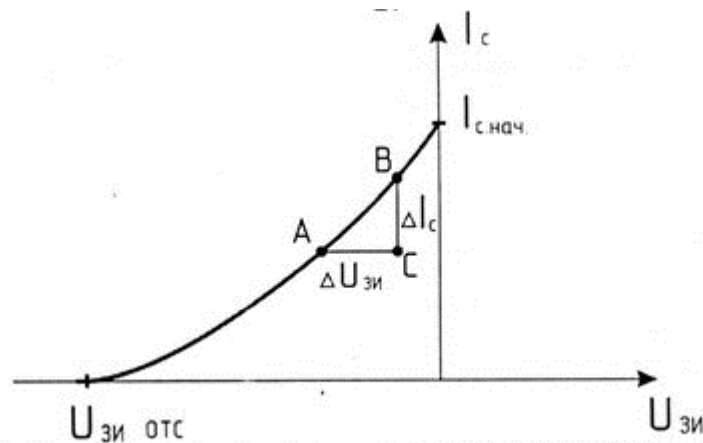


Рис. 3.8. Стоко-затворная характеристика n -канального полевого транзистора с p - n -переходом

Параметры полевых транзисторов

Основными параметрами полевых транзисторов являются:

начальный ток стока $I_{c \text{ нач.}}$ — определяемый током стока транзистора с p - n -переходом при напряжении между затвором и истоком, равном нулю, и при напряжении на стоке, равном или превышающем напряжение насыщения $U_{си \text{ насыч.}}$;

напряжение отсечки $U_{зи \text{ отс}}$ — определяемое напряжением между затвором и истоком транзистора с p - n -переходом, при котором ток стока достигает заданного низкого значения;

пороговое напряжение $U_{зи}$ — определяемое напряжением между затвором и истоком транзистора с изолированным затвором (МОП-транзистора), при котором ток стока достигает заданного низкого значения;

крутизна характеристики S , определяемая отношением изменения тока стока к изменению напряжения на затворе при коротком замыкании по переменному току на выходе транзистора в схеме сообщим истоком;

сопротивление сток-исток в открытом состоянии $R_{си \text{ откр.}}$, определяемое сопротивлением между стоком и истоком в открытом состоянии транзистора при заданном напряжении затвор-исток и токе стока;

максимально допустимое напряжение сток-исток $U_{си \text{ макс.}}$;

максимально допустимое напряжение затвор-исток $U_{зи \text{ макс.}}$;

максимально допустимый постоянный ток стока $I_{c \text{ макс.}}$;

максимально допустимый прямой ток затвора полевого транзистора с p - n -переходом $I_{з \text{ макс.}}$;

максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность $P_{\text{макс}}$

У всех типов полевых транзисторов током стока управляет напряжение затвор-исток $U_{зи}$. Таким образом, о способности полевых транзисторов усиливать нужно судить по величине отношения тока стока к напряжению затвор-исток. Эта величина называется

крутизной S и находится как отношение приращения тока стока ΔI_C к приращению напряжения затвор-исток $\Delta U_{ЗИ}$

(3.1)

$$S = \Delta I_C / \Delta U_{ЗИ}$$

Размерность крутизны выражается в мА / В или в Сименсах ($1 \text{ См} = 1 \text{ А} / \text{В}$). Обычно крутизну полевого транзистора рассчитывают для режима, соответствующего линейному участку стоко-затворной характеристики. Для этого строят треугольник ABC (рис. 3.4 и рис. 3.7), по которым находят приращения тока ΔI_C и напряжения $\Delta U_{ЗИ}$ и по формуле (3.1) рассчитывают крутизну S .

Крутизна полевых транзисторов зависит от тока стока. В области насыщения она растет пропорционально корню квадратному из тока стока

$$S = (k I_C)^{0.5}$$

Здесь были рассмотрены n-канальные полевые транзисторы. П-канальные полевые транзисторы симметричны n-канальным в том же смысле, в каком являются таковыми n - p - n - и p - n - p -транзисторы. Обычно p-канальные полевые транзисторы имеют более плохие параметры, а именно более высокое пороговое напряжение, более высокое сопротивление сток-исток в открытом состоянии $R_{СИ \text{ отк}}$ меньший начальный ток стока и применяются реже.

Основные электрические параметры n-канального полевого транзистора с p-n-переходом КП303Д

Крутизна характеристики S ,	при $U_{СИ} = 10 \text{ В}$, $U_{ЗИ} = 0 \text{ В}$	не менее 2.6 мА/В
Начальный ток стока $I_{С \text{ нач}}$	при $U_{СИ} = 10 \text{ В}$, $U_{ЗИ} = 0 \text{ В}$	3,0 ... 9,0 мА
Напряжение отсечки $U_{ЗИ \text{ отс}}$	при $U_{СИ} = 10 \text{ В}$, $I_C = 0,01 \text{ мА}$	не более -8,0 В
Максимально допустимое напряжение сток-исток $U_{СИ \text{ макс}}$		25 В
Максимально допустимое напряжение затвор-исток $U_{ЗИ \text{ макс}}$		-30 В
Максимально допустимый постоянный ток стока $I_{С \text{ макс}}$		20 мА
Максимально допустимый прямой ток затвора $I_{З \text{ макс}}$		5,0 мА
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность $P_{\text{макс}}$		200 мВт

Задание:

- Установить сменный модуль «Полевые транзисторы»
- Снять стоко-затворные характеристики полевого транзистора с p - n -переходом
- Снять стоковые характеристики полевого транзистора с p - n -переходом
- Измерить напряжения отсечки полевого транзистора с p - n переходом.
- Обработать результаты экспериментов: заполнить таблицы 3.1, 3.2, 3.3 и построить характеристики
- Ответить на контрольные вопросы

Порядок выполнения работы

1. Установка сменного модуля «Полевые транзисторы»

Модуль «Полевые транзисторы»

Схема модуля «Полевые транзисторы» приведена на рис. 3.9. Элементы усилителя на сменном модуле №3 имеют следующие параметры:

$VT1$ – транзистор $KП303Д$;

$VT2$ – транзистор $IRFD024$;

$R_{ш} = 100\text{Ом}$.

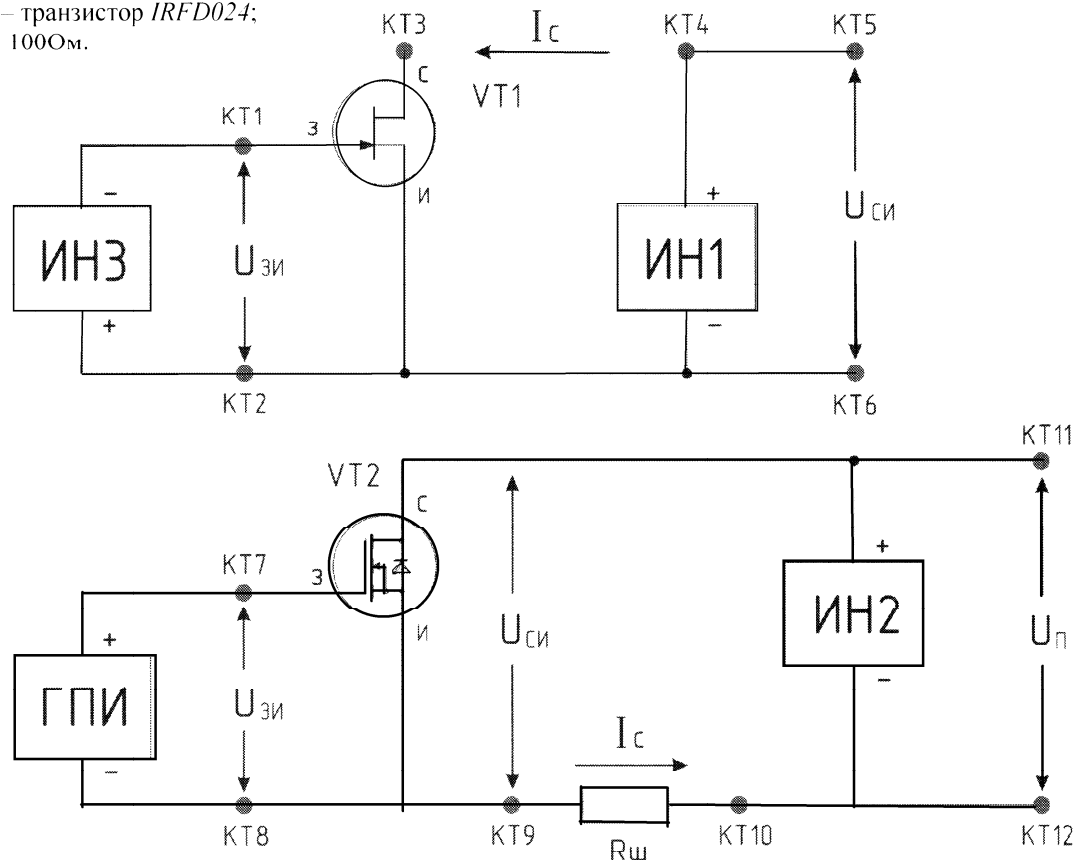


Рис. 3.9. Схема модуля «Полевые транзисторы»

- Зарисуйте схемы для исследования полевого транзистора с p-n переходом (см. рис. 3.6)
- Начертите таблицы для снятия характеристик транзисторов.
- Установите выключатель **СЕТЬ**, выключатели всех источников сигналов и измерительных приборов в положение **0**, регуляторы потенциометров всех источников в крайнее левое положение.
- Подключите сменный модуль №3 к разъему базового блока.
- Подсоедините шнур питания к разъему на задней стенке стенда и включите вилку шнура питания в розетку электросети напряжением 220В.

Внимание!

*Если показания на дисплее измерительного прибора не изменяются при изменении измеряемой величины, то выключите и снова включите его тумблером **ВКЛ / ВЫКЛ**.*

*Если при включении амперметра на его дисплее отображается символ **АС** (режим измерения переменного напряжения), то выключите и снова включите амперметр тумблером **ВКЛ / ВЫКЛ** для измерения постоянного по роду тока (при этом на его дисплее должен отобразиться символ **DC**).*

2. Снятие стоко-затворных характеристик полевого транзистора с *p-n*-переходом

- Соберите схему, показанную на рис. 3.6.
- Для снятия характеристик полевого транзистора с *p-n*-переходом подключите встроенные в стенд приборы:
- PA1 - миллиамперметр для измерения тока стока I_c
- PV1 - вольтметр для измерения напряжения затвор-исток $U_{зс}$;
- PV2 - вольтметр для измерения напряжения сток-исток $U_{си}$
- После проверки правильности подключения приборов преподавателем включите питание стенда выключателем **СЕТЬ**.
- Включите источники напряжения *ИН1* и *ИН3* и подключенные к схеме измерительные приборы.
- Регуляторами **ГРУБО** и **ГРУБО** источника напряжения $U_{си}$ установите напряжение сток-исток $U_{си}$, равное 5 В.
- Регуляторами **ГРУБО** и **ГРУБО** источника напряжения *ИН3* установите напряжение затвор-исток $U_{зс} \sim 0$. определите при этом величину начального тока I_{c0}
- транзистора и занесите ее значение в табл.
- Изменяйте напряжение затвор-исток согласно табл. 3.1 и записывайте в эту таблицу соответствующие значения тока стока I_c .

Таблица 3.1

Напряжение сток-исток $U_{си}$, В		0	-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0
Ток стока I_c , мА	5	I_{c0} нач.=						
	10	I_{c0} нач.=						
При напряжении $U_{си}$, В								

3. Снятие стоковых характеристик полевого транзистора с *p-n*-переходом

3.1 Установите напряжение $U_{си} = 0$

3.2 Изменяйте напряжение сток-исток $U_{си}$ согласно табл. 3.2 и записывайте в эту таблицу соответствующие им значения тока стока

3.3 Аналогично снимите стоковые характеристики при напряжениях затвор-исток -0,5 В; -1,0 В и -1,5 В.

Таблица 3.2

Напряжение сток-исток $U_{си}$, В		0,2	0,5	1	2	5	10	15
Ток стока I_c , мА при напряжении затвор-исток $U_{зс}$, В	0							
	-0,5							

	-1,0							
	-1,5							

- Аналогично снимите стоко-затворную характеристику транзистора при напряжении $U_{cu} = 10B$.

4. Измерение напряжения отсечки полевого транзистора с $p-n$ переходом.

- Установите напряжение $U_{cu} = 10B$.
- Изменяя напряжение затвор исток $U_{зи}$, установите ток стока с $I_c = 0,01 mA$ (10мкА). Запишите соответствующее этому значению тока стока значение напряжения отсечки $U_{зи.отс}$ в табл. 3.3.
- Выключите источники напряжения ИН1 и ИН3 и подключенные к схеме измерительные приборы.

5) Обработка результатов экспериментов с полевым транзистором с $p-n$ переходом.

- Занесите из табл. 3.1. в табл. 3.3. значения начального тока стока, найденного при напряжении $U_{cu} = 10B$.
- Используя данные табл. 3.1. и табл. 3.2. постройте графики семейств стоко-затворных и стоковых характеристик транзистора. Они имеют вид, представленный на рис.3.7 и рис 3.8.
- Выполните на стоко-затворной характеристике необходимые построения для определения крутизны характеристики при изменении напряжения $U_{зи}$ от 0В до -0,5В (см. рис.3.8.). Рассчитайте значения крутизны, используя выражения (3,1) и занесите результат в табл. 3.3.
- Сравните параметры транзистора, полученные экспериментальным путем, со справочными значениями.

Таблица 3.3

Параметр	Экспериментальное значение	Справочное значение
Начальный ток I_c нач, мА При $U_{cu} = 10B$, $U_{зи} = 0B$		3,0 ююю 9,0
Напряжение отсечки $U_{зи}$ отс, В При $U_{cu} = 10B$, $I_c = 0,01 mA = 10мкА$		Не более -8,0
Крутизна характеристики S , мА/В При $U_{cu} = 10B$, $U_{зи} = 0B$		Не менее 2,6

Контрольные вопросы

1. Какие транзисторы называют полевыми?
2. Чем объясняется высокое входное сопротивление полевых транзисторов?

3. Чем отличается полевой транзистор от биполярного?
4. Каковы основные параметры полевых транзисторов?
5. Где применяют полевые транзисторы?

Форма контроля - письменный отчет.

Список рекомендуемой литературы:

1. Горошков Б. И. Электронная техника : Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2012.-2005. - 320 с.-61 экз.

Раздел 2. Полупроводниковые приборы
Тема 2.3. Тиристор
Лабораторная работа № 4
«Исследование работы тиристора»

Объем учебного времени – 2 часа.

Цель работы - снятие и анализ анодной характеристики тиристора; определение электрических параметров тиристора.

Студенты должны знать:

- Конструкцию тиристора
- Принцип его действия
- особенности построения прямой и обратной ветви ВАХ тиристора

Студенты должны уметь:

- собирать принципиальную электрическую схему для снятия вольтамперной характеристики тиристора
- работать с нормативными документами, справочниками, технической литературой
- строить прямую ветвь ВАХ тиристора
- делать выводы по результатам исследований

Оборудование: Стенд ЭТ-01, Сменный блок «тиристор».

Техника безопасности

В лаборатории полупроводниковых приборов учащиеся должны соблюдать правила:

1. Перед выполнением работы все приборы заземлить и убедиться в наличии заземления лабораторного стенда.
2. Собирать электрические схемы при отключении источника питания.
3. Собранная схема должна быть проверена преподавателем или лаборантом.
4. При всех изменениях в схемах (замена деталей, устранение неисправностей), источники питания должны быть отключены.
5. При смене деталей и при изменении положения различных элементов схемы запрещено свободной рукой касаться неизолируемых мест шасси, труб парового отопления.
6. Разбирать схему в конце работы можно только с разрешения преподавателя и при выключении всех источников питания.

Основные теоретические положения

Конструкция

Тиристоры - это полупроводниковые приборы, обладающие двумя устойчивыми состояниями: открытым и закрытым. В открытом состоянии тиристоры хорошо проводят электрический ток, а в закрытом они представляют собой большое сопротивление, соизмеримое с сопротивлением кремниевого диода при обратном напряжении. Основное назначение тириستоров – безобрывная коммутация электрических цепей.

Тиристор, как показано на рис 4.1, а, является четырехслойным устройством $\{p-n-p-r\}$. Однако его условное обозначение (рис 4.1, б) выглядит просто как выпрямительный диод с дополнительным управляющим электродом. Напряжение между основными выводами тиристора (анодом и катодом) и ток, протекающий через них, называются основными. Напряжение между управляющим электродом и катодом и ток, протекающий через них, называются управляющими.

Объяснить принцип действия тиристора можно, представив четыре его слоя в виде двух взаимно связанных транзисторов, как показано на рис. 4.1, в, г

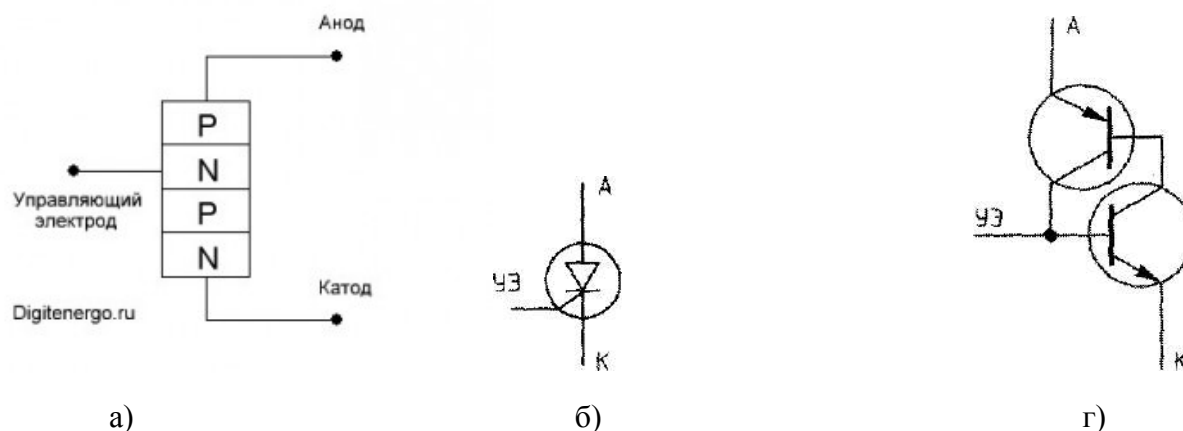


Рис. 4.1. Тиристор: а) структура, б) условное обозначение, в) транзисторный эквивалент, г) эквивалентная схема с транзисторами

Принцип действия

На схеме, приведенной на рис. 4.2, указаны ток нагрузки I_A , управляющий ток I_V , коллекторный ток I_K транзистора $VT1$ и коллекторный ток I_C транзистора $VT2$. Положительное относительно катода основное напряжение U_A подается на анод, а управляющее напряжение U_V - на управляющий электрод. При управляющем напряжении $U_V = 0$ ток I_V также равен нулю. Если при этом напряжение на его аноде меньше напряжения переключения $U_{прк}$ (рис. 4.3), то тиристор закрыт (оба транзистора $VT1$ и $VT2$ закрыты). Это состояние устойчиво и может длиться неограниченно долго. На рис. 4.3 это характеристика 2 закрытого состояния тиристора.

Дальнейшее увеличение напряжения U_A уменьшает сопротивление смещенных в обратном направлении переходов база-коллектор транзисторов $VT1$ и $VT2$. При напряжении $U_A = U_{прк}$ транзисторы открываются, и тиристор переключается в проводящее состояние. Ток анода открытого тиристора I_A определяется сопротивлением нагрузки (см рис. 4.2). На рис. 4.3 это характеристика 1 открытого состояния тиристора. Тиристор может находиться в открытом состоянии неограниченно долго: пока существуют условия для протекания в его основной цепи анодного тока большего, чем ток удержания.

Внутренняя обратная связь делает тиристор чрезвычайно эффективным и **быстрым** переключающим устройством (типичное время включения 1 мкс). Им можно воспользоваться для управления очень большими мощностями, поскольку $p-n$ переходы можно сделать такими, чтобы они выдерживали многие сотни Вольт при смещении в обратном направлении. При соответствующих размерах $p-n$ переходов с помощью тиристора можно переключать токи величиной сотни Ампер и при этом на нем падает напряжение всего лишь порядка Вольта или около этого. Такого сочетания высокого напряжения пробоя с большим эффективным коэффициентом усиления тока нельзя достичь в мощном **транзисторе**: большой коэффициент усиления тока требует, чтобы область базы была тонкой, а это приводит к низкому напряжению пробоя.

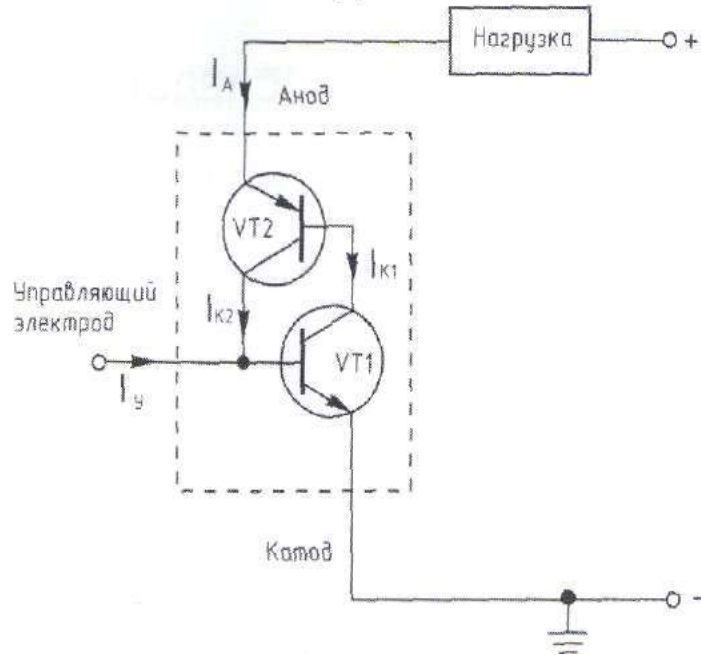


Рис. 4.2. Схема, объясняющая работу тиристора с точки зрения транзисторного эквивалента

Если на управляющий электрод закрытого тиристора подать напряжение управления $U_y > 0$, то в цепи базы транзистора $VT1$ потечет управляющий ток I_y , который откроет этот транзистор. В свою очередь, появившийся ток коллектора I_{k1} транзистора $VT1$ откроет транзистор $VT2$ и тиристор откроется. Чем больше управляющий ток I_y , тем меньшим напряжением на аноде U_d открывается тиристор (см. рис. 4.3). Коллекторный ток I_{k1} открытого транзистора $VT2$ будет удерживать транзистор $VT1$ в открытом состоянии (характеристика 1 на рис. 4.3) даже, если напряжение управления U_y и управляющий ток I_y станут равными нулю.

Таким образом, открыть тиристор можно двумя способами:

- увеличив анодное напряжение до величины $U_d \sim U_{прк}$ при токе управления $I_y = 0$;
- подав кратковременный импульс тока управления I_y при анодном напряжении $U_d < U_{прк}$.

Закреть тиристор можно, уменьшив анодный ток до величины $I_d < I_{ул}$.

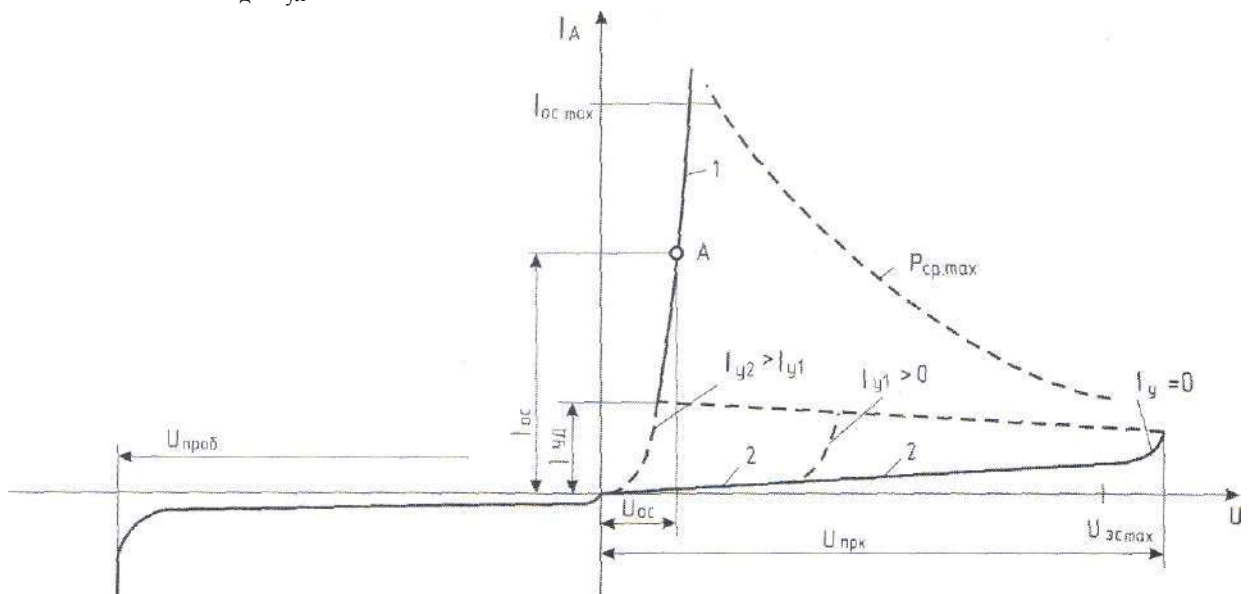


Рис. 4.3. Анодная характеристика тиристора, не проводящего в обратном направлении: 1- характеристика открытого состояния; 2 - характеристики закрытого состояния

Параметры тиристоров

Основными параметрами тиристоров являются:

постоянное напряжение в открытом состоянии $U_{\text{оф}}$ - основное напряжение на открытом тиристоре при определенном среднем основном токе в открытом состоянии $I_{\text{оф}}$;

ток удержания $I_{\text{уд}}$ - наименьший основной ток, необходимый для поддержания тиристора в открытом **состоянии**, при определенном отпирающем постоянном токе управления $I_{\text{уот}}$;

отпирающий постоянный ток управления $I_{\text{оу}}$ - наименьший постоянный ток управления, необходимый для включения тиристора, при определенном постоянном основном напряжении в закрытом состоянии $U_{\text{зс}}$;

отпирающее постоянное напряжение управления $U_{\text{уот}}$ ■ постоянное напряжение управления, соответствующее отпирающему постоянному току управления $I_{\text{уот}}$ при определенном постоянном основном напряжении в закрытом состоянии тиристора $U_{\text{зс}}$;

максимальное постоянное напряжение в закрытом состоянии $U_{\text{К макс}}$ - максимальное прямое основное напряжение, при котором прибор остается закрытым при токе $I_{\text{г}} = 0$;

максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{\text{обр макс}}$;

максимально допустимый постоянный или средний ток в открытом состоянии $I_{\text{Жмзс}}$;

максимально допустимый постоянный ток управления $I_{\text{у макс}}$;

максимально допустимая средняя рассеиваемая мощность $P_{\text{р макс}}$

Основные электрические параметры тиристора КУ101Б

Постоянное напряжение в открытом состоянии $U_{\text{оф}}$	2,5 В		
при $I_{\text{оф}} = 15 \text{ мА}$	0,5...	25 мА	
Ток удержания $I_{\text{уд}}$			
при $U_{\text{оф}} = 0$ Отпирающий постоянный ток управления $I_{\text{уот}}$	0,05 .	..7,5	мА
при $U_{\text{зс}} = 10 \text{ В}$ Отпирающее постоянное напряжение управления $U_{\text{уот}}$	0,25.	.. 10	В
при $I_{\text{уот}} = 10 \text{ В}$	50 В		
Максимальное постоянное напряжение в закрытом состоянии $U_{\text{К макс}}$	50 В		
Максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{\text{обр макс}}$			
Максимально допустимый постоянный или средний ток в открытом состоянии $I_{\text{Жмзс}}$	75 мА		
Максимально допустимый постоянный ток управления $I_{\text{у макс}}$	15 мА		
Максимально допустимая средняя рассеиваемая мощность $P_{\text{р макс}}$	150 мА		

Задание:

- установить сменный модуль «Тиристор»
- Определить электрические параметры тиристора
- Снять характеристики закрытого состояния тиристора при $I_{\text{г}} = 0,9 I_{\text{уот}}$
- Снять характеристики открытого состояния тиристора
- Обработать результаты
- Ответить на контрольные вопросы

Порядок выполнения работы

1. установка сменного модуля «Тиристор»

Модуль «Тиристор»

Схема модуля «Тиристор» приведена на рис. 4.4. Элементы схемы на сменном модуле №4 имеют следующие параметры:

VS1 -тиристор *KV101B*;

резистор $R_H = 510 \text{ Ом}$.

HG1 светодиод *L-934LSRD*

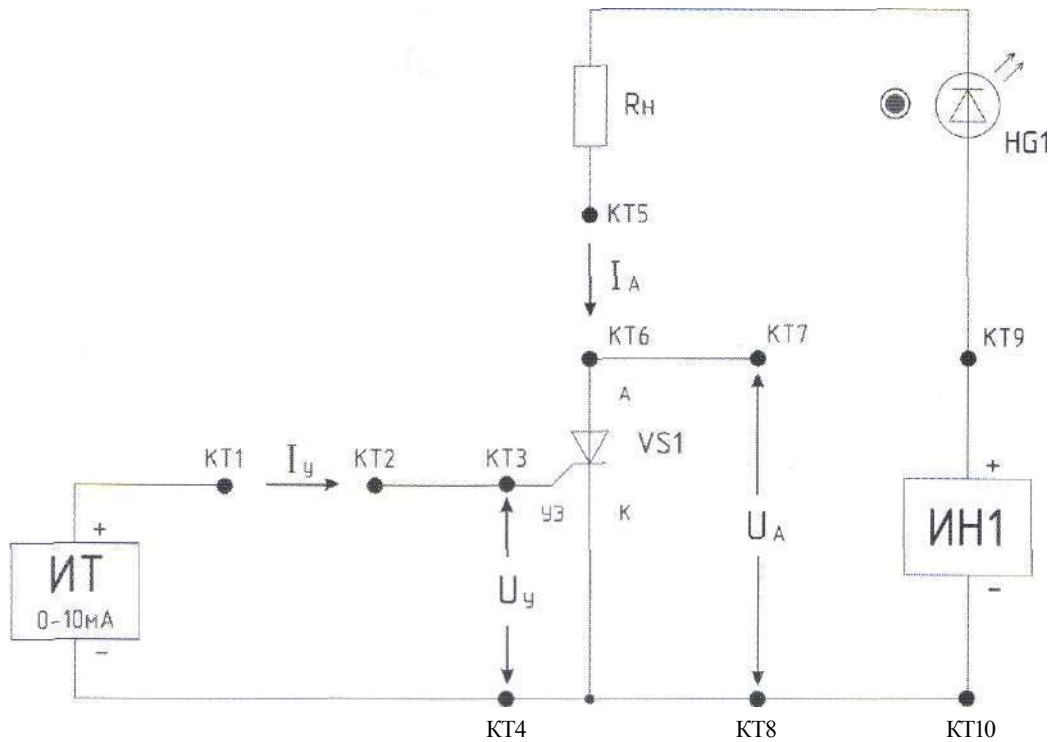


Рис. 4.4. Схема модуля «Тиристор»

- 1.1 Зарисуйте схему для получения анодной характеристики тиристора (см. рис. 4.5).
- 1.2 Начертите табл. 4.1 ...4.3 для записи результатов исследований тиристора.
- 1.3 Установите выключатель **СЕТЬ**, выключатели всех источников сигналов и измерительных приборов в положение 0, регуляторы потенциометров всех источников в крайнее левое положение, переключатель диапазонов источника тока *ИТ*- в положение **0-10 мА**.
- 1.4 Подключите сменный модуль к разъему базового блока.

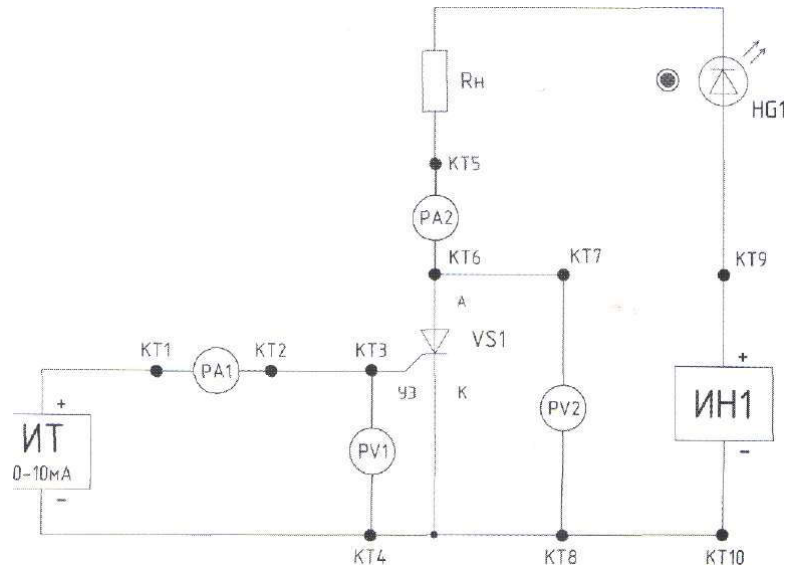


Рис. 4.5. Схема модуля «Тиристор» с подключенными измерительными приборами

- 1.5 Подсоедините шнур питания к разъему на задней стенке стенда и включите вилку шнура питания в розетку электросети напряжением 220В.

Внимание!

Если показания на дисплее измерительного прибора не изменяются при изменении измеряемой величины, то выключите и снова включите его тумблером **ВКЛ/ВЫКЛ**.

Если при включении амперметра на его дисплее отображается символ **АС** (режим измерения переменного напряжения), то выключите и снова включите амперметр тумблером **ВКЛ/ ВЫКЛ** для измерения постоянного порою тока (при этом на его дисплее должен отобразиться символ **DC**).

2. Определение электрические параметры тиристора

- 2.1 Для исследования тиристора подключите встроенные в стенд приборы:

PA1 - микроамперметр для измерения тока управления I_V ; *PA2* - миллиамперметр для измерения тока анода I_A ; *PV1* - вольтметр для измерения напряжения управления U_V ; *PV2* - вольтметр для измерения анодного напряжения U_A ;

- 2.2 После проверки преподавателем правильности подключения приборов включите питание стенда выключателем **СЕТЬ**.
- 2.3 Включите источник тока *ИТ*, источник напряжения *ИН!* и подключенные к схеме измерительные

- приборы.
- 2.4 Регуляторами **ГРУБО** и **ГРУБО** источника напряжения *ИИ1* установите значение анодного напряжения U_A равным 10 В.
- 2.5 Регуляторами **ГРУБО** и **ГРУБО** источника тока *ИТ* увеличивайте значения тока управления I_U до отпирания тиристора (в момент отпирания напряжение на аноде тиристора U_A резко уменьшается, анодный ток I_A увеличивается и светодиод *HGI* начинает светиться).
- 2.6 Занесите в табл. 4.1 значения отпирающего постоянного тока управления $I_{U,1T}$ и отпирающего постоянного напряжения управления $U_{U,1T}$.
- 2.7 Установите ток управления $I_U = 0$. Убедитесь, что тиристор остался в открытом состоянии.
- 2.8 Плавно уменьшайте анодный ток I_A , регулируя величину напряжения источника питания *ИИ1*, пока тиристор не перейдет в закрытое состояние. запишите величину анодного тока, при котором тиристор закрылся $I_A = I_{уд}$

3. Снятие характеристики закрытого состояния тиристора при $I_U = 0,9I_{U,1T}$

- 3.1 Установите минимальное значение анодного напряжения регуляторами источника *ИИ1*.
- 3.2 Установите значение тока управления $I_U = 0,9I_{U,1T}$.
- 3.3 Регулируя величину напряжения источника питания *ИИ1* устанавливайте значения анодного напряжения U_A согласно табл. 4.2. Для каждого значения анодного напряжения U_A снимайте соответствующие значения анодного тока $I_A = I_X$ и заносите их в табл.4.1

Таблица 4.1

Ток управления				
Анодное напряжение $U_A - I$		5	10	15
Анодный ток $I_A = I_{уд}$				

4. Снятие характеристики открытого состояния тиристора

- 4.1 Если тиристор находится в закрытом состоянии, то переведите его в открытое состояние, выполнив п.п. 2.4 и 2.5.

Установите максимальное значение напряжения источника питания *ИИ1*. При этом анодный ток I_A будет иметь максимальное для данной схемы включения значение $I_{A, макс}$.

- 4.3 Установите значение тока управления $I_U = 0$ мА. Убедитесь, что тиристор остался в открытом состоянии. Занесите значения анодного тока $I_{A3} = I_{A, макс}$ и соответствующего ему анодного напряжения $U_{A3} = U_{oc}$ в табл. 4.3. Значение анодного напряжения U_{oc} занесите также в табл. 4.1.
- 4.4 Рассчитайте значения анодного тока $I_{A2} = 0,5(I_{A, макс} + I_{уд})$ и $I_{A1} = (I_{A, макс} + 1 \text{ мА})$. Занесите их в табл. 4.3.

- 4.5 Устанавливайте значения анодного тока I_{A2} и I_{A1} и снимайте соответствующие значения анодного напряжения $U_A = U_{oc}$. Полученные результаты заносите в табл. 4.3.
- 4.6 Выключите источник тока *ИТ*, источник напряжения *ИН1* и подключенные к схеме измерительные приборы.

Таблица 4.3

Ток управления /			
Анодный ток $I_D = I_{oc}$, мА	$I_A =$	$I_{A2} =$	I_A 'А макс ~ З
Анодное напряжение $U_D - U_{oc}$, В			

5. Обработка результатов эксперимента

- 5.1 Используя данные табл. 4.1 сравните экспериментально полученные значения электрических параметров **тиристора** со справочными значениями.
- 5.2 Используя данные табл. 4.2 и 4.3 постройте график анодной характеристики тиристора. Она имеет вид, представленный на рис. 4.3.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение тиристорных?
2. Какие условия необходимы для отпирания тиристора?
3. Какие условия необходимы для запираания тиристора?
4. Какими параметрами характеризуются тиристоры?
5. В каком случае тиристор будет вести себя, как полупроводниковый диод?

Форма контроля - письменный отчет.

Список рекомендуемой литературы:

1. Горошков Б. И. Электронная техника : Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2012.-2005. - 320 с.-61 экз.

Раздел 5 Аналоговые электронные устройства

Тема 5.3. Электронные усилители

Лабораторная работа № 5

«Исследование усилительного каскада на транзисторе»

Объем учебного времени – 2 часа.

Цель работы - снятие амплитудно-частотной и амплитудной характеристик каскада с ОЭ по переменному току.

Студенты должны знать:

- применение биполярных транзисторов в схемах электронных устройств;
- режим включения биполярного транзистора в схеме усилителя;
- использование пассивных элементов в схемах электронных устройств.

Студенты должны уметь:

- уметь собирать схему усилителя;
- проводить исследования схемы усилителя;
- строить амплитудно-частотные характеристики усилителей.

Оборудование: Стенд ЭТ-01, Сменный блок «усилительный каскад на транзисторе».

Техника безопасности

В лаборатории полупроводниковых приборов учащиеся должны соблюдать правила:

1. Перед выполнением работы все приборы заземлить и убедиться в наличии заземления лабораторного стенда.
2. Собирать электрические схемы при отключении источника питания.
3. Собранный схема должна быть проверена преподавателем или лаборантом.
4. При всех изменениях в схемах (замена деталей, устранение неисправностей), источники питания должны быть отключены.
5. При смене деталей и при изменении положения различных элементов схемы запрещено свободной рукой касаться неизолируемых мест шасси, труб парового отопления.
6. Разбирать схему в конце работы можно только с разрешения преподавателя и при выключении всех источников питания.

Основные теоретические положения

Режим каскада с ОЭ по постоянному току

Состояние усилителя при равном нулю входном сигнале называется рабочей точкой каскада или режимом покоя, Рабочая точка каскада с ОЭ определяется четырьмя параметрами: токами I_b и I_k и напряжениями на базе U_b и коллекторе U_k .

Рабочая точка в схеме рис. 1 задается фиксированным напряжением базы U_b относительно общей точки с помощью базового делителя R_1, R_2 . Ток делителя напряжения устанавливают на порядок выше тока базы ($I_d \geq 10 I_b$), поэтому изменения тока базы слабо влияют на потенциал базы. Напряжение базы определяется по формуле

$$U_b = U_{\Pi} R_2 / (R_1 + R_2). \quad (1)$$

где U_{Π} - напряжение питания схемы.

Так как переход база-эмиттер смещен в прямом направлении, то на нем падает приблизительно 0,6 В.

Поэтому потенциал эмиттера ниже потенциала базы на 0,6 В.

$$U_э = U_b - 0,6. \quad (2)$$

Отсюда можно найти величину тока эмиттера

$$I_э = U_э / R_э. \quad (3)$$

Поскольку $I_э = I_k + I_b$, а $I_b \ll I_k$, то можно считать, что

$$I_k = I_э \quad (4)$$

Напряжение на коллекторе транзистора

$$U_k = U_{\Pi} - I_k R_k \quad (5)$$

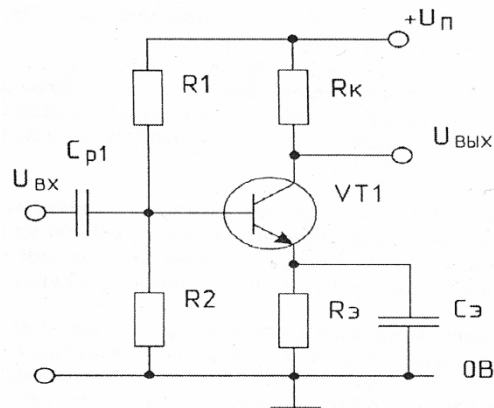


Рис. 1. Схема усилительного каскада с ОЭ с заземленным по переменному току эмиттером
Усилительный каскад с шунтирующим конденсатором в цепи эмиттера

В схеме на рис. 1 конденсатор большой емкости $C_э$ шунтирует эмиттерный резистор. Импеданс этого конденсатора $x_{C_э}$, должен быть гораздо меньше сопротивления резистора $R_э$. Таким образом, можно считать, что для переменного тока эмиттер транзистора соединен с общей точкой схемы.

Коэффициент усиления переменного напряжения. коэффициент усиления переменного напряжения для схемы рис. 1 равен

$$K = u_{\text{вых}} / u_{\text{вх}} = -R_k / r_э = -40 R_k I_k. \quad (6)$$

Знак минус говорит о том, что увеличение потенциала базы дает уменьшение потенциала коллектора.

В таком усилителе при условии, что напряжение коллектора в рабочей точке составляет $0,5 U_{\Pi} = R_k I_{k_{\text{рт}}}$, коэффициент усилении по напряжению для малого сигнала равен

$$K = 20 U_{\Pi} \quad (7)$$

что следует из выражения (6).

Величина коэффициента усиления напряжения K зависит от тока коллектора, поэтому найденное из выражения (6) значение коэффициента K имеет смысл только для малого сигнала $i_k \ll I_k$. Если на вход данного усилителя подается треугольный сигнал, а на выходе действует максимальное неограниченное напряжение, то оно будет иметь нелинейные искажения, показанные на рис. 2.

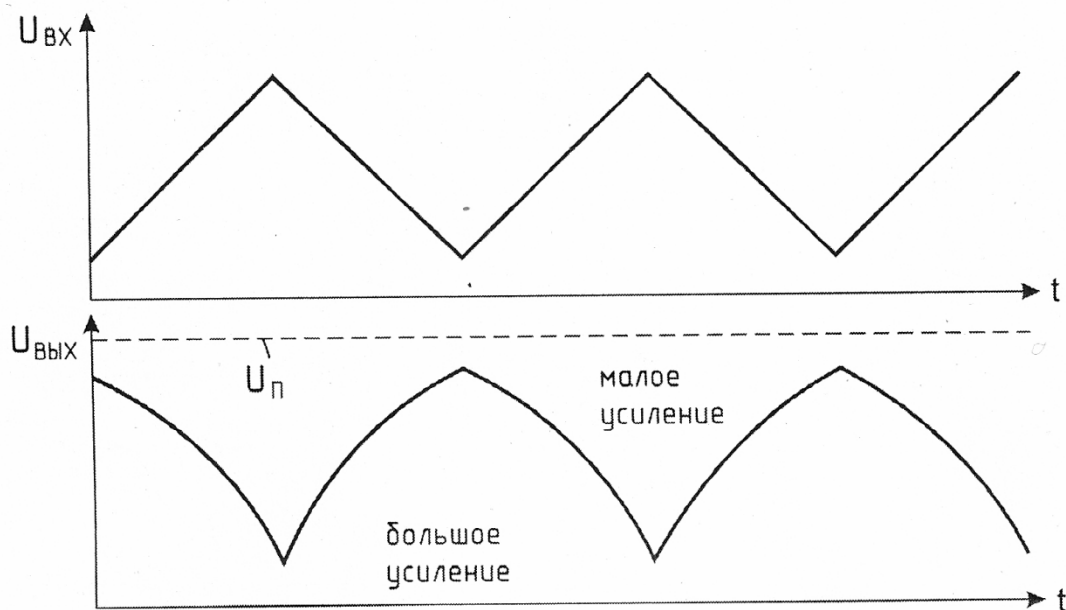


Рис. 2. Форма входного и выходного сигналов в схеме с шунтирующим конденсатором (рис. 1) при большой амплитуде колебаний. Входной сигнал показан в увеличенном масштабе для удобства сравнения.

Амплитудно-частотная характеристика. Шунтирующий эмиттерный конденсатор $C_э$ следует выбирать так, чтобы импеданс параллельного соединения резистора $R_э$ и конденсатора $C_э$ не влиял на коэффициент усиления K в нулевом диапазоне частот. Для этого импеданс конденсатора $C_э$ должен быть небольшим по сравнению с $r_э$ на самой низкой из интересующих вас частот

$$1/2\pi f C_э < 1/40 I_k. \quad (8)$$

Частота, на которой импеданс конденсатора $C_э$ и сопротивление эмиттера $r_э$ равны $f=40 I_k/2\pi f C_э$. (9)

Разделительные конденсаторы C_1 и C_2 используются для, изоляции внешних цепей от постоянных напряжений, имеющихся на базе и коллекторе в режиме покоя.

Для оценки влияния частоты сигнала f на коэффициент усиления K используют амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя (рис. 3).

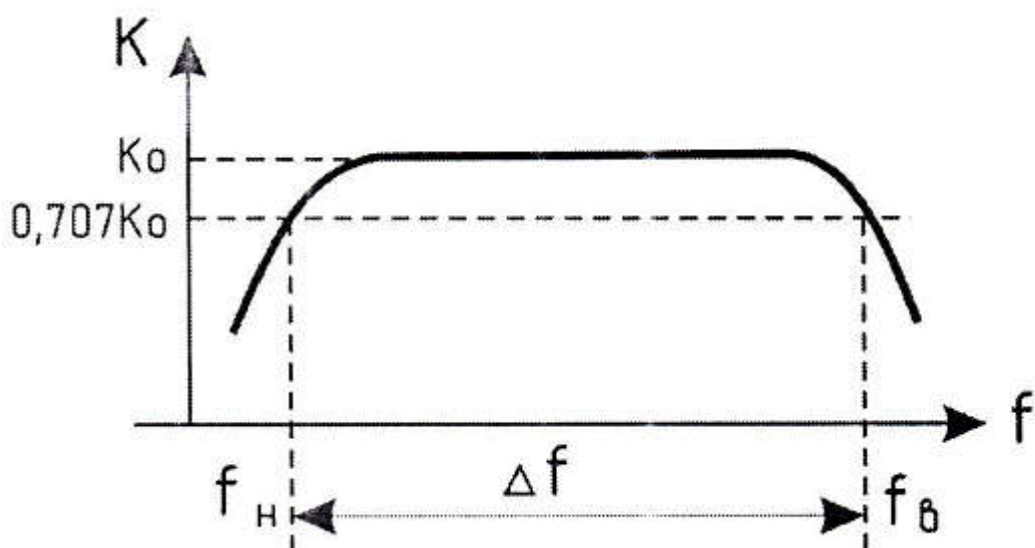


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика усилителя

Входное сопротивление. Входное сопротивление данной схемы (рис. 1) для переменного сигнала определяется параллельным соединением резистора делителя R_2 и входного сопротивления транзистора со стороны базы r_B . Обычно $r_B < R_2$. В данной схеме

$$r_B = u_{BЭ} / i_B \quad (10)$$

Минимальное значение входного сопротивления схемы рис. 1 для переменного сигнала равно

$$r_{ВХ. мин} = r_{B мин.} R_2 / (r_{B мин.} + R_2). \quad (11)$$

Нижняя граничная частота. Когда импеданс конденсатора C_1 равен входному сопротивлению схемы $r_{ВХ}$, коэффициент усиления падает на 3 дБ. Отсюда нижняя граничная частота усилителя

$$f_H = 1 / 2\pi C_1 r_{ВХ} \quad (12)$$

Выходное сопротивление. Обычно выходной импеданс усилителей имеет резистивный характер в широком диапазоне частот. Коллектор обладает очень большим сопротивлением, поэтому выходное сопротивление определяется коллекторным резистором

$$r_{ВЫХ} = R_K. \quad (13)$$

Верхняя граничная частота. Верхняя граничная частота усилителя находится по формуле

$$f_B = 1 / 2\pi C_H R_H, \quad (14)$$

где C_H - емкость нагрузки и емкости переходов транзистора; R_H - сопротивление параллельно соединенных $r_{ВЫХ}$ и сопротивления нагрузки.

Усилительный каскад с ООС по переменному току

Коэффициент усиления напряжения

Схема усилительного каскада с ОЭ и с ООС по переменному току приведена на рис. 4. В схеме (рис. 4) нет шунтирующего резистор $R_Э$ конденсатора. Следовательно, на резисторе $R_Э$ появится переменное напряжение. Это напряжение пропорционально току эмиттера, а значит и току коллектора

$$u_Э = i_Э R_Э \approx i_K R_Э \quad (15)$$

В результате к управляющему транзистором переходу база-эмиттер прикладывается разность входного напряжения u_B и напряжения ООС по току $u_Э$ (так как $u_Э$ пропорционально выходному току i_K)

$$u_{ЭБ} = u_B - u_Э \quad (16)$$

Допустим, что на базу подан переменный входной сигнал u_B . Напряжение на эмиттере будет повторять изменение напряжения на базе $u_Э = u_B$. Это приведет к изменению тока эмиттера

$$i_Э = u_Э / (R_Э + r_Э) = u_B / (R_Э + r_Э) \approx u_B / R_Э, \quad (17)$$

так как обычно $r_Э \ll R_Э$.

Ток коллектора приблизительно равен току эмиттера

$$I_K \approx i_{\varepsilon} = u_B / R_{\varepsilon} \quad (18)$$

Итак, первоначальное изменение напряжение на базе вызывает изменение напряжения на коллекторе

$$u_K = -i_K R_K = -u_B R_K / R_{\varepsilon} \quad (19)$$

Отсюда коэффициент усиления напряжения схемы с *OOC* по току (рис. 4) равен из (19)

$$K = u_{\text{вых}} / u_{\text{вх}} = u_K / u_B = -R_K / R_{\varepsilon} \quad (20)$$

Знак минус говорит о том, что увеличение потенциала базы дает уменьшение потенциала коллектора. Из выражения (20) видно, что коэффициент усиления по напряжению усилителя с *OOC* величина постоянная и зависит только от отношения сопротивлений резисторов. Следовательно, такой усилитель обладает высокой стабильностью и не искажает форму выходного сигнала. Эти замечательные качества усилителя с *OOC* достигаются ценой сильного уменьшения коэффициента усиления K (в усилителе без *OOC* $K = -R_K / r_{\varepsilon}$; $r_{\varepsilon} \ll R_{\varepsilon}$).

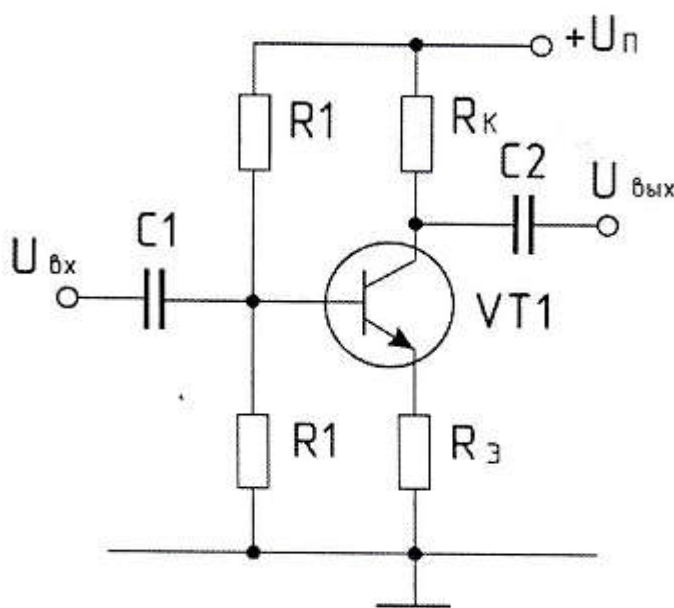


Рис. 4. Каскад усиления переменного тока с *OOC* в цепи эмиттера

Основные электрические параметры транзистора *KT503Г*

Напряжение насыщения коллектор-эмиттер $U_{KЭ}$ при $I_K = 10\text{мА}$, $I_B = 1\text{мА}$ - не более 0,6 В, тип. значение 0,2 В.

Напряжение насыщения база-эмиттер $U_{БЭ}$ при $I_K = 10\text{мА}$, $I_B = 1\text{мА}$ - не более 1,2 В, тип. значение 0,8 В.

Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $h_{21Э}$ при $U_{KЭ} = 5\text{ В}$, $I_{\varepsilon} = 10\text{мА}$ - 80...240.

Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор-эмиттер $U_{KЭ\text{ макс}}$ - 60в.

Максимально допустимое постоянное напряжение база-эмиттер $U_{Бэ}$ макс - 5В.

Максимально допустимый постоянный ток коллектора I_K макс - 0,15 А.

Максимально допустимый постоянный ток базы I_B макс - 0,1 А.

Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора P_K макс - 0,35Вт.

Задание :

- установить сменный модуль «Усилительный каскад на транзисторе»
- Исследовать усилительный каскад с *ООС* по переменному току
- Обработать результаты экспериментов: занести данные в таблицу 1 и построить амплитудно-частотную характеристику
- Ответить на контрольные вопросы

Порядок выполнения работы

1. установка сменного модуля «Усилительный каскад на транзисторе»

Модуль «Усилительный каскад на транзисторе»

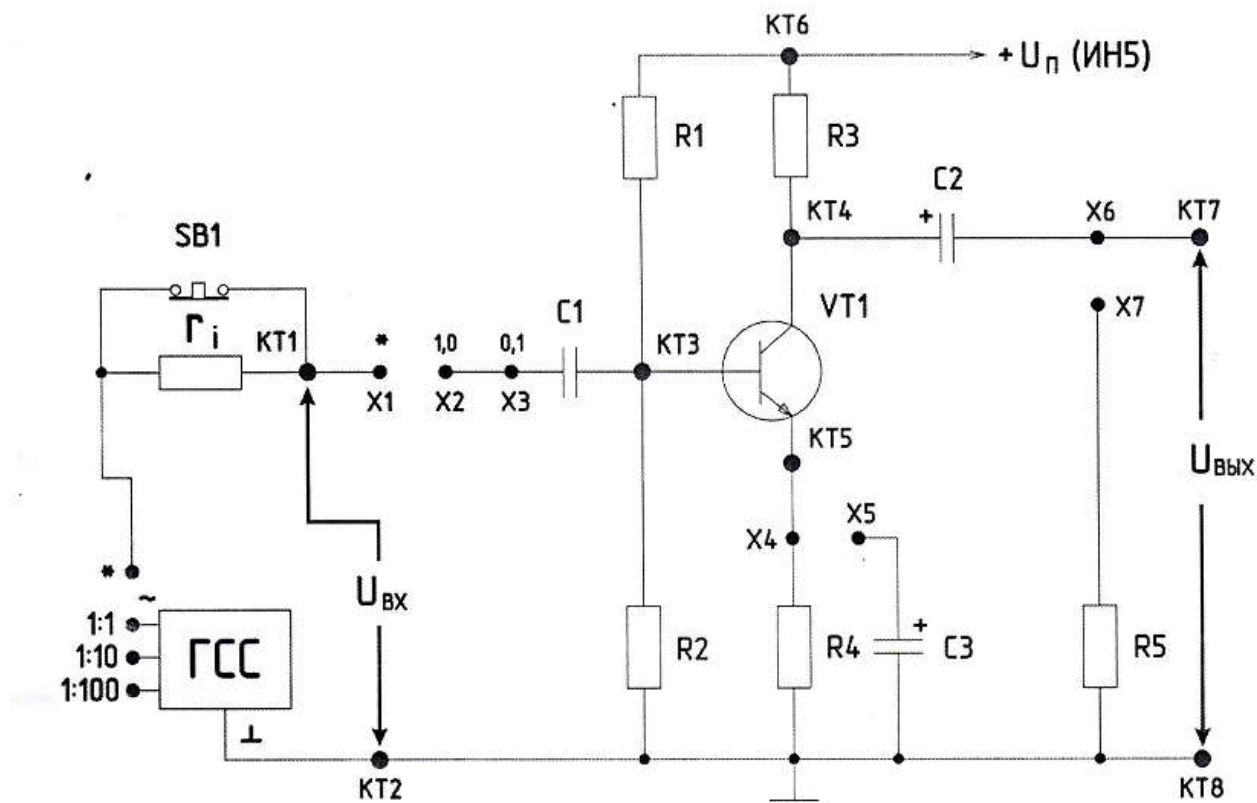
Схема модуля «Усилительный каскад на транзисторе». Элементы усилителя на сменном модуле X25 имеют следующие параметры:

VT1 - транзистор КТ503Г;

резисторы $R_1 = 91 \text{ кОм}$; $R_2 = 11 \text{ кОм}$; $R_3 = R_5 = 8,2 \text{ кОм}$; $R_4 = r_i = 1 \text{ кОм}$;

конденсаторы $C_1 = 0,1$ и $1,0 \text{ мкФ}$; $C_2 = C_3 = 100 \text{ мкФ}$;

SBI- кнопка без фиксации положения.



1.1 Зарисуйте схемы усилителя с *OOC* по переменному току (см. рис. 5) и усилителя с шунтирующим конденсатором в цепи эмиттера (см. рис. 1).

1.2 Вычертите необходимые таблицы.

1.3 Рассчитайте режим каскада по постоянному току (токи базы I_B макс и коллектора I_K и напряжения на базе U_B , эмиттере U_E и коллекторе U_K) и занесите результаты расчетов в табл. 5.2.1. При расчетах примите напряжение питания схемы $U_{\Pi} = 15B$.

1.4 Рассчитайте параметры усилителя с *OOC* по переменному току (коэффициент усиления переменного напряжения K , входное сопротивление переменному току r_{BX} нижние граничные частоты $f_{н.1}$ и $f_{н.2}$ (для $C_1 = 0,1$ и $1,0$ мкФ) и выходное сопротивление переменному току $r_{ВЫХ}$).

1.5 Рассчитайте параметры усилителя с шунтирующим конденсатором в цепи эмиттера (коэффициент усиления переменного напряжения K , минимально возможное входное сопротивление переменному току $r_{ВХ.МИН}$, нижние граничные частоты $f_{н.1}$ и $f_{н.2}$ (для $C_1 = 0,1$ и $1,0$ мкФ) и выходное сопротивление переменному току $r_{ВЫХ}$).

1.6 Установите выключатель СЕТЬ, выключатели всех источников сигналов и измерительных приборов в положение 0, регуляторы потенциометров всех источников в крайнее левое положение.

1.7 Подключите сменный модуль №5 к разъему базового блока.

1.8 Подсоедините шнур питания к разъему на задней стенке стенда и включите вилку шнура питания в розетку электросети напряжением 220В.

2. Исследование усилительного каскада с *OOC* по переменному току

2.1 Снятие амплитудно-частотных характеристик усилителя с *OOC* по переменному току

- 2.1.1.** На сменном модуле отсоедините шунтирующий конденсатор $C3$ от эмиттерного резистора $R4$ и резистор нагрузки $R5$ от выхода усилителя. Подключите разделительный конденсатор $C1 = 1,0$ мкФ. Установите делитель входного напряжения в положение 1:10. Подключите первый канал двухканального осциллографа ко входу усилителя для измерения частоты и величины входного напряжения $u_{вх}$. Подключите второй канал двухканального осциллографа к выходу усилителя для измерения величины выходного напряжения $u_{вых}$.
- 2.1.2.** Включите питание схемы тумблером **1/0**, установленным на сменном модуле.
- 2.1.3.** Переключателем **ГСС ФОРМА** установите режим источника напряжения синусоидальной формы и включите **ГСС**.
- 2.1.4.** Установите частоту напряжения **ГСС** равной 1 кГц.
- 2.1.5.** Регуляторами **АМПЛИТУДА ГСС** установите величину размаха выходного напряжения $u_{вых р)$ исследуемого усилителя около 4 В. Определите при этом величину размаха входного напряжения u_n и занесите ее в табл.1.
- 2.1.6.** Поддерживая величину входного напряжения $u_{вх}$ постоянной (ее значение занесено в табл.1), изменяйте его частоту согласно табл. 5.3.1. Для каждого значения частоты определяйте величину размаха выходного напряжения $u_{вых}$ и заносите результат в табл.1.
- 2.1.7.** Выключите питание схемы и **ГСС**. Подключите разделительный конденсатор $C1 = 0,1$ мкФ.
- 2.1.8.** Включите питание схемы и **ГСС**. Снимите **АЧХ** усилителя при $C1 = 0,1$ мкФ, выполняя п.п. 3.1.6.

Таблица 1

Входное напряжение $u_{вх}$, мВ														
Частота/ кГц		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10	20	50	100
Выходное напряжение $u_{вх}$, В при емкости $C1$, мкФ	1,0													
	0,1													
Коэффициент усиления $K = u_{вых} / u_{вх}$ при емкости $C1$, мкФ	1,0													
	0,1													

3. Обработка результатов экспериментов

3.1. Используя данные табл.1, постройте графики **АЧХ** усилителя с разделительными конденсаторами $C1=0,1$ и $1,0$ мкФ в одних координатных осях. Нанесите значение

частоты на графике АЧХ в логарифмическом масштабе. Сравните графики и сделайте вывод.

3.2. Определите по графикам АЧХ величины нижних граничных частот $f_{н.1}$ (при $C_1=0,1$ мкФ) и $f_{н.2}$ (при $C_1=1,0$ мкФ). Сравните рассчитанные и измеренные значения нижних граничных частот. Сделайте вывод.

3.3. Определите по графикам АЧХ величину верхней граничной частоты $f_{в}$.

3.4. Сравните рассчитанные и измеренные значения коэффициента усиления K . Сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Как в усилителях обеспечивается температурная стабильность рабочей точки?
2. Как повлияет на АЧХ усилителя с шунтирующим конденсатором в цепи эмиттера уменьшение емкости этого конденсатора?
3. Как реализуется ООС по переменному току в усилителе?
4. Почему в схеме с ООС по переменному току при одинаковом значении емкости разделительного конденсатора полоса пропускания в сторону нижних частот шире, чем в схеме с шунтирующим конденсатором?
5. Как ООС по переменному току влияет на коэффициент усиления?

Форма контроля - письменный отчет.

Список рекомендуемой литературы:

1. Горошков Б. И. Электронная техника : Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. - 5-е изд., стер. - М. : Академия, 2012.-2005. - 320 с.-61 экз.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]