

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**Отделение ядерной физики и технологий**

План одобрен  
Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол № 25.8 от 25.08.2025

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

**Электроника**

---

**для специальности**

**14.05.01 Ядерные реакторы и материалы**

---

*код и название специальности*

**образовательная программа**

**Ядерные реакторы**

---

**Форма обучения: очная**

**г. Обнинск**

## **Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) – является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Электроника» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **Цели и задачи фонда оценочных средств**

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине «Электроника» решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- контроль и оценка степени освоения компетенций предусмотренных в рамках данной дисциплины;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

## 11. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

### 1.1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ОП обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                                                                                                      | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1           | Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования | З-ОПК-1 Знать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования<br>У-ОПК-1 Уметь использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования<br>В-ОПК-1 Владеть навыками использования основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования |

### 1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Место дисциплины и соответствующий этап формирования компетенций в целостном процессе подготовки по образовательной программе можно определить по матрице компетенций, которая приводится в РП дисциплины.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

- **начальный** этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;
- **основной** этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но еще не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;
- **завершающий** этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объем знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

Этапы формирования компетенций в ходе освоения дисциплины отражаются в тематическом плане (см.РПД).

## 1.2. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

### 1.3.

| №<br>п/п                 | Контролируемые раз-<br>делы (темы) дисци-<br>плины                    | Индикатор достижения компетенции | Наименование оценочного<br>средства текущей и про-<br>межуточной аттестации |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Текущая аттестация       |                                                                       |                                  |                                                                             |
| 1.                       | Элементная база со-<br>временных электрон-<br>ных устройств           | З-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1;       | Домашние задания<br>Контрольная работа<br>Лабораторные работы               |
| 2.                       | Усилители электриче-<br>ских сигналов.                                |                                  |                                                                             |
| 3.                       | Источники вторично-<br>го питания                                     |                                  |                                                                             |
| 4                        | Импульсные и авто-<br>генераторные устрой-<br>ства.                   |                                  |                                                                             |
| 5                        | Основы цифровой<br>электроники. Микро-<br>процессорные сред-<br>ства. |                                  |                                                                             |
| Промежуточная аттестация |                                                                       |                                  |                                                                             |
|                          | Экзамен                                                               | З-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1;       | Экзаменационный билет                                                       |

## 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п.1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы.

Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

| Уровни                                                                                                                             | Содержательное описание уровня                                                                                                                                  | Основные признаки выделения уровня                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | БРС, % освоения | ECTS/Пятибалльная шкала для оценки экзамена/зачета |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------|
| <b>Высокий</b><br><i>Все виды компетенций сформированы на высоком уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i>         | Творческая деятельность                                                                                                                                         | <i>Включает нижестоящий уровень.</i><br>Студент демонстрирует свободное обладание компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приемов, технологий                 | 90-100          | A/<br>Отлично/<br>Зачтено                          |
| <b>Продвинутый</b><br><i>Все виды компетенций сформированы на продвинутом уровне в соответствии с целями и задачами дисциплины</i> | Применение знаний и умений в более широких контекстах учебной и профессиональной деятельности, нежели по образцу, большей долей самостоятельности и инициативы  | <i>Включает нижестоящий уровень.</i><br>Студент может доказать владение компетенциями: демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников и иллюстрировать ими теоретические положения или обосновывать практику применения. | 85-89           | B/<br>Очень хорошо/<br>Зачтено                     |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 70-84           | C/<br>Хорошо/<br>Зачтено                           |
| <b>Пороговый</b><br><i>Все виды компетенций сформированы на пороговом уровне</i>                                                   | Репродуктивная деятельность                                                                                                                                     | Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал.                                                                                                                                                                              | 65-69           | D/Удовлетворительно/<br>Зачтено                    |
|                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 60-64           | E/ Посредственно<br>/Зачтено                       |
| <b>Ниже порогового</b>                                                                                                             | Отсутствие признаков порогового уровня: компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0-59            | Неудовлетворительно/<br>Незачтено                  |

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации.

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства и приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице. При этом следует понимать, что граница между уровнями для конкретных результатов освоения образовательной программы может смещаться.

| Уровень сформированности компетенции | Текущий контроль       | Промежуточная аттестация |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| высокий                              | <b>высокий</b>         | <b>высокий</b>           |
|                                      | <i>продвинутый</i>     | <i>высокий</i>           |
|                                      | <i>высокий</i>         | <i>продвинутый</i>       |
| продвинутый                          | <i>пороговый</i>       | <i>высокий</i>           |
|                                      | <i>высокий</i>         | <i>пороговый</i>         |
|                                      | <b>продвинутый</b>     | <b>продвинутый</b>       |
|                                      | <i>продвинутый</i>     | <i>пороговый</i>         |
|                                      | <i>пороговый</i>       | <i>продвинутый</i>       |
| пороговый                            | <b>пороговый</b>       | <b>пороговый</b>         |
| ниже порогового                      | <b>пороговый</b>       | <b>ниже порогового</b>   |
|                                      | <b>ниже порогового</b> | -                        |

### 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

- Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.
- Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.
- Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.
- Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:
  - контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.
  - контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

| Этап рейтинговой системы /<br>Оценочное средство | Неделя       | Балл      |           |
|--------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|
|                                                  |              | Минимум*  | Максимум  |
| <b>Текущая аттестация</b>                        | <b>1-16</b>  | <b>36</b> | <b>60</b> |
| <b>Контрольная точка № 1</b>                     | <b>7-8</b>   | <b>18</b> | <b>30</b> |
| <i>Контрольная работа</i>                        |              | 18        | 30        |
| <b>Контрольная точка № 2</b>                     | <b>15-16</b> | <b>18</b> | <b>30</b> |

|                                 |   |           |            |
|---------------------------------|---|-----------|------------|
| <i>Контрольная работа</i>       |   | 18        | 30         |
| <b>Промежуточная аттестация</b> | - | <b>24</b> | <b>40</b>  |
| Зачет                           | - |           |            |
| <i>Зачетный билет</i>           | - | 24        | 40         |
| <b>ИТОГО по дисциплине</b>      |   | <b>60</b> | <b>100</b> |

\* Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по разделу, зачету или экзамену, если он набрал не менее 60% от максимального балла, предусмотренного рабочей программой.

Студент может быть аттестован по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачету/экзамену и его суммарный балл составляет не менее 60.

**4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

**Обнинский институт атомной энергетики –**

**филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

**Отделение ядерной физики и технологий**

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Специальность             | 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы |
| Образовательная программа | Ядерные реакторы                      |
| Дисциплина                | Электроника                           |

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

1. Полупроводники. Основы зонной теории строения вещества. Собственная и примесная проводимость полупроводников

.....

2. Усилители электрических сигналов. Основные понятия, определения, параметры и разновидности усилителей.

.....

...

3. Задача.

.....

Составитель \_\_\_\_\_

Е.Г.Типикин

Начальник отделения \_\_\_\_\_

Д.С. Самохин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Отделение ядерной физики и технологий

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Специальность             | 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы |
| Образовательная программа | <i>Ядерные реакторы</i>               |
| Дисциплина                | Электроника                           |

**Примеры вопросов к экзамену**

1. Полупроводники. Основные положения теории электропроводности. Собственная и примесная проводимость полупроводника.
2. р-п переход. Электрические процессы в р-п переходе.
3. Вольтамперная характеристика р-п перехода. Диоды, классификация диодов.
4. Пробой р-п перехода. Стабилитроны. Их основные параметры, схемное обозначение. Параметрический стабилизатор напряжения.
5. Емкость р-п перехода. Варикапы.
6. Биполярные транзисторы. Устройство, основные параметры, схемное обозначение. Схемы включения и режимы работы биполярного транзистора.
7. Электрические процессы в биполярном транзисторе, включенном по схеме с общей базой.
8. Биполярный транзистор как четырехполюсник. Система Н-параметров, их смысл. Схема замещения биполярного транзистора.
9. Полевой транзистор с управляющим р-п переходом. Устройство, принцип работы, вольтамперные характеристики, основные параметры, схемное обозначение.
10. МДП транзистор. Устройство, принцип работы, вольтамперные характеристики, основные параметры, схемное обозначение.
11. Усилители электрических сигналов. Основные понятия, определения, параметры и разновидности усилителей.
12. Обратная связь в усилителях.
13. Простейший усилитель на биполярном транзисторе с общим эмиттером. Схема. Выбор и назначение элементов.
14. Операционные усилители и их основные характеристики.
15. Реализация типовых звеньев на операционном усилителе.
16. Вторичные источники электропитания. Назначение, принципы построения.
17. Вторичные источники электропитания. Выпрямители.
18. Вторичные источники электропитания. Стабилизаторы напряжения.
19. Импульсные устройства. Параметры импульсов. Представление непрерывных сигналов с помощью импульсов.
20. Логические элементы. Схемное обозначение. Таблицы истинности.
21. Особенности логических элементов различных серий (ДТЛ, ТТЛ, ТТЛШ, КМОП)
22. Комбинационные устройства. Дешифраторы, шифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры.
23. Последовательные устройства. Триггеры, регистры, счетчики.

| Оценка                             | Критерии оценки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Отлично<br>90-100                  | <p>Студент должен:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li> <li>- исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li> <li>- правильно формулировать определения;</li> <li>- продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li> <li>- уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li> </ul> |
| Хорошо<br>70-89                    | <p>Студент должен:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li> <li>- продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li> <li>- продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li> <li>- уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li> </ul>  |
| Удовлетворительно<br>60-69         | <p>Студент должен:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li> <li>- показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li> <li>- уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li> <li>- знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li> </ul>                                                                                          |
| Неудовлетворительно<br>59 и меньше | <p>Студент демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- незнание значительной части программного материала;</li> <li>- не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li> <li>- существенные ошибки при изложении учебного материала;</li> <li>- неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li> <li>- неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li> </ul>                                        |

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Отделение ядерной физики и технологий

Специальность 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

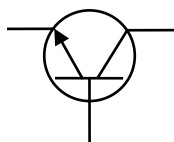
Образовательная  
программа Ядерные реакторы

Дисциплина Электроника

## Пример заданий для контрольной работы

### Пример 1

На рисунке представлено условное графическое изображение...

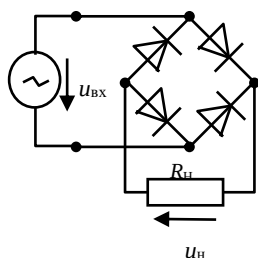


Варианты ответов:

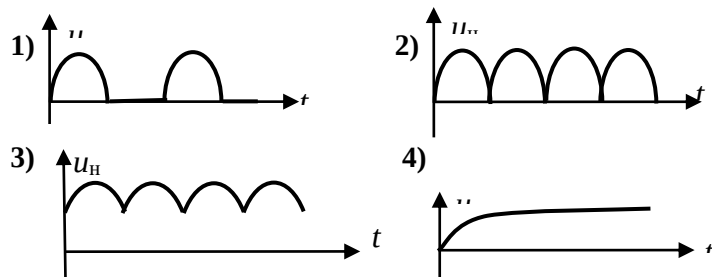
- 1) биполярного *n-p-n*-транзистора;
- 2) полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом и каналом *n*-типа;
- 3) биполярного *p-n-p*-транзистора;
- 4) полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом и каналом *p*-типа.

### Пример 2

Для представленной на рисунке схемы выпрямителя при синусоидальном изменении напряжения  $u_{вх}$  диаграмма напряжения  $u_n$  на резисторе нагрузки будет иметь вид ...

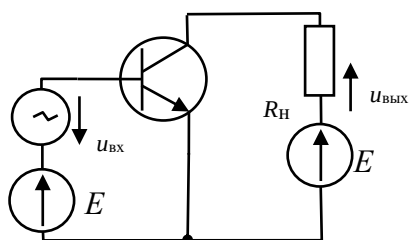


Варианты ответов:



### Пример 3

На рисунке представлена схема включения биполярного транзистора с...

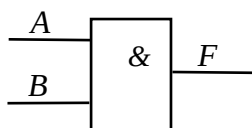


Варианты ответов:

- 1) общим эмиттером;
- 2) общей базой;
- 3) общим коллектором;
- 4) общим истоком.

### Пример 4

Логическому элементу, изображенному на рисунке, соответствует таблица истинности...



Варианты ответов:

1)

| A | B | F |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

2)

| A | B | F |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

3)

| A | B | F |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

4)

| A | B | F |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

Критерии оценивания компетенций (результатов):

- уровень освоения обучающимся материала, предусмотренного учебной программой;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении заданий и задач;
- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

Описание шкалы оценивания:

**90-100 баллов** ставится, если:

- изученный материал изложен полно, определения даны верно;
- ответ показывает понимание материала;
- обучающийся может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, не только по учебнику и конспекту, но и самостоятельно составленные.

**70-89 баллов** ставится, если:

- изученный материал изложен достаточно полно;
- при ответе допускаются ошибки, заминки, которые обучающийся в состоянии исправить самостоятельно при наводящих вопросах;
- обучающийся затрудняется с ответами на 1-2 дополнительных вопроса.

**60-69 баллов** ставится, если:

- материал изложен неполно, с неточностями в определении понятий или формулировке определений;
- материал излагается непоследовательно;
- обучающийся не может достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;
- на 50% дополнительных вопросов даны неверные ответы.

**0-59 баллов** ставится, если:

- при ответе обнаруживается полное незнание и непонимание изучаемого материала;
- материал излагается неуверенно, беспорядочно;
- даны неверные ответы более чем на 50% дополнительных вопросов.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Отделение ядерной физики и технологий

|                           |                                       |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Специальность             | 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы |
| Образовательная программа | Ядерные реакторы                      |
| Дисциплина                | Электроника                           |

**Пример лабораторной работы**

**Лабораторная работа 1**

**СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА**

**Цель работы**

Изучение свойств полупроводниковых диодов - выпрямительного диода и диода Шоттки.

**Теоретические сведения**

Полупроводниковым диодом называют полупроводниковый прибор, имеющий один  $p$ - $n$  - переход и снабженный двумя выводами (А-анод, К-катод), предназначенный для преобразования и коммутации электрических сигналов [1-3]. В зависимости от назначения и свойств различают выпрямительные диоды, диоды Шоттки, стабилитроны, высокочастотные диоды, импульсные диоды, варикапы, светодиоды, фотодиоды, диодные оптроны и т. п. Свойства полупроводникового диода определяются свойствами  $p$ - $n$ —перехода.

В выпрямительных диодах используется свойство односторонней проводимости  $p$ - $n$ —перехода: пропускать электрический ток при прямом напряжении (рис. 1.1) и практически не пропускать - при изменении полярности приложенного напряжения.

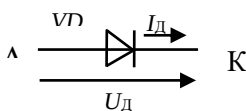


Рис. 1.1. Условное графическое обозначение и направления прямого тока и напряжения диода

Выпрямительный диод является существенно нелинейным элементом. ВАХ идеального диода (идеального  $p$ - $n$ -перехода) описывается следующим уравнением [2]:

$$I_D = I_0 \left( \exp \left( \frac{U_D}{m \varphi_T} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

где  $I_D$  - ток через ПД;  $U_D$  - напряжение, приложенное к ПД;  $I_0$  - обратный ток ПД (берется из справочника);  $\varphi_T = kT/q$ — температурный потенциал ( $\varphi_T = 25$  мВ при комнатной температуре);  $m$ —коэффициент, учитывающий отклонение ВАХ от идеального закона ( $m = 1 \div 4$ ). Для идеального диода  $m = 1$ .

Как любой нелинейный элемент, ПД имеет различное сопротивление постоянному и переменному току.

На основе (1) могут быть найдены

$R_{ст}$  - статическое сопротивление (сопротивление постоянному току)

$$R_{ст} = \frac{U_D}{I_D} = \frac{\phi_T}{I_D} \cdot \ln \frac{I_D + I_0}{I_0} + r_b(I_D); \quad (2)$$

где  $r_b$  - сопротивление базы диода ( $1 \div 30 \text{ Ом}$ ),

$r_{дф}$  - дифференциальное сопротивление (сопротивление переменному току малой амплитуды)

$$r_{дф} = \frac{\partial U_D}{\partial I_D} = \frac{m\phi_T}{I_D + I_0} + r_b(I_D). \quad (3)$$

Для прямых ветвей рассчитывают зависимости  $r_b = f(I_D)$ ,  $R_{ст} = f(I_D)$ ,  $r_{дф} = f(I_D)$ , для обратных ветвей -  $R_{ст} = f(U_D)$ ,  $r_{дф} = f(U_D)$ . При этом

$$r_b(I_D) = \frac{U'' - U'}{I'}; \quad (4)$$

$$R_{ст} = \frac{U'}{I'}; \quad (5)$$

$$r_{дф} = \frac{u'}{i'}; \quad (6)$$

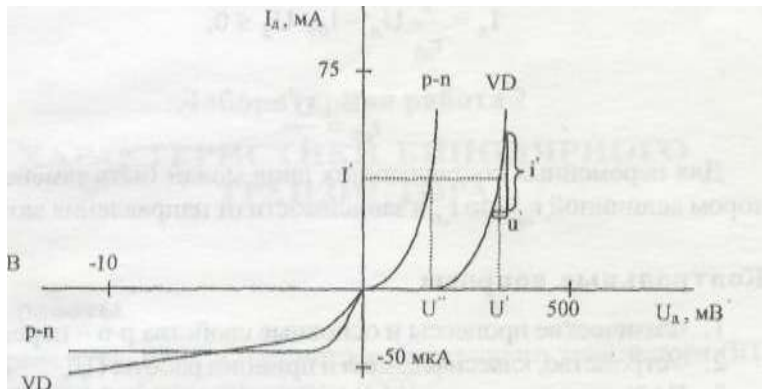


Рис. 1.2. Пояснения к выражениям (4-6)

С целью облегчения расчетов схем с диодами часто пользуются линейной аппроксимацией их ВАХ [2], как показано на рис. 1.3. При такой аппроксимации ВАХ заменяется линейными функциями. Для прямой ветви

$$I_D = \frac{1}{r_{пр}} (U_D - U_0); U_D > U_0; r_{пр} = \frac{u''}{i''} \quad (7)$$

Для обратной ветви

$$I_D = \frac{1}{r_{обр}} U_D - I_0; U_D \leq 0; r_{обр} = \frac{u'}{i'}. \quad (8)$$

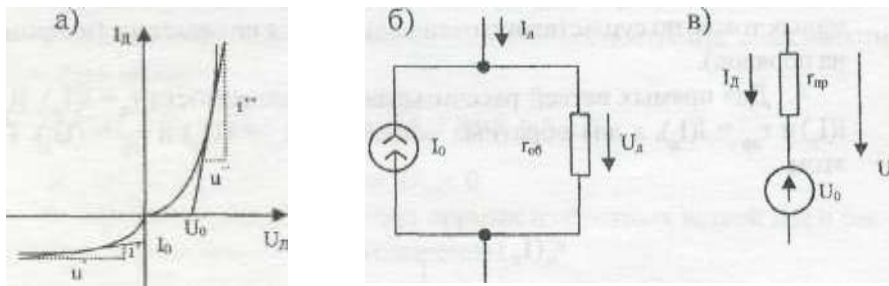


Рис. 1.3. а)-линейная аппроксимация ВАХ;б) - схема замещения по постоянному току обратно смещенного диода; в)- схема замещения диода в прямом включении

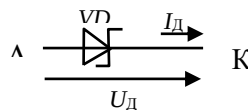


Рис. 1.4. Условное графическое обозначение диода Шоттки

**Диоды Шоттки** (Рис.1.4) — это полупроводниковые приборы, в которых используются свойства потенциального барьера (*барьера Шоттки*) на контакте металл — полупроводник. В рассматриваемых диодах из-за разной высоты потенциальных барьеров для электронов и дырок нет инжекции неосновных носителей заряда, нет и таких медленных процессов, как накопление и рассасывание неосновных носителей в базе. В результате инерционность диодов с выпрямлением на контакте металл-полупроводник определяется величиной барьерной ёмкости выпрямляющего контакта ( $C_{бар} = 1$  пФ). Кроме того, у этих диодов незначительные активные потери (прямое напряжение  $U_{пр} = 0,4$  В, что на 0,3 В меньше, чем у кремниевых диодов). В связи с тем, что барьерная ёмкость и последовательное активное сопротивление в таких диодах небольшие, соответственно мало и время перезарядки ёмкости; это даёт возможность использовать диоды Шоттки в качестве сверхскоростных импульсных диодов ( $f = 3 \div 15$  ГГц), например, в некоторых схемах в качестве быстродействующих логарифмических элементов и в мощных высокочастотных выпрямителях, в которых диоды способны работать на частотах до 1 МГц при  $U_{обр} = 50$  В и  $I_{пр} = 10$  А.

## Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
3. Изучить описания и технические характеристики модулей стенда, применяемых при выполнении данной работы: «Источники питания», «Резисторы/ Активная нагрузка», «Нелинейные элементы», «Измерительные приборы», «Мультиметры».
4. В соответствии с рабочим заданием подготовить таблицы для записи измерений.
5. Ознакомиться с характеристиками выпрямительного диода 1N4007 и диода Шоттки 1N5822.

## Рабочее задание

1. Собрать схему для исследования выпрямительного диода VD1 блока «Нелинейные элементы» на постоянном токе (рис. 1.5). В качестве R1 использовать сопротивление 100 Ом блока «Резисторы/ Активная нагрузка». Для измерения тока использовать один из мультиметров блока «Мультиметры», для измерения напряжения использовать один из приборов блока «Измерительные приборы», задав для них соответствующие режимы работы. В качестве источника питания использовать стабилизированный регулируемый источник Е1 блока «Источник питания». Ручку регулировки напряжения источника установить в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки до упора. Собирая схему особое внимание обратить на полярность подключения источника питания. Представить схему для проверки преподавателю.

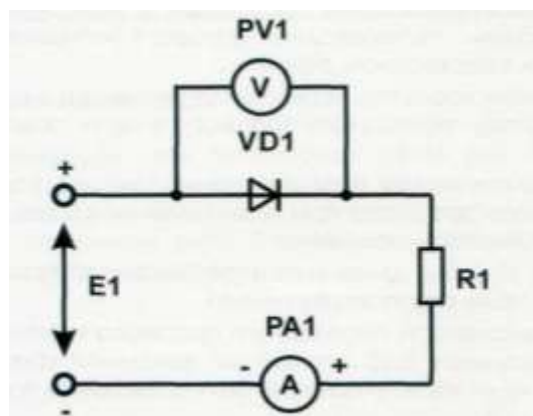


Рис. 1.5 Исследование полупроводниковых диодов

2. Включить электропитание модулей стенда. Снять прямую ветвь ВАХ выпрямительного диода VD1. Для этого, регулируя напряжение источника питания  $E1$ , задавать прямой ток диода (1; 2; 3; 5; 7; 10; 15; 20; 30; ...; 70 мА) и измерять прямое напряжение. Результаты измерений занести в таблицу. Выключить электропитание модулей стенда. Ручку регулировки напряжения источника  $E1$  установить в крайнее левое положение.

3. Для снятия обратной ветви ВАХ выпрямительного диода полярность подключения источника питания  $E1$  изменить на противоположную. Снять обратную ветвь ВАХ выпрямительного диода VD1. Для этого, регулируя напряжение источника питания  $E1$ , задавать обратное напряжение (1; 1,5; 2; 3; 5; 7; 10 В) и измерять обратный ток диода. Результаты измерений занести в таблицу. Выключить электропитание модулей стенда. Ручку регулировки напряжения источника  $E1$  установить в крайнее левое положение.

4. Собрать схему для исследования выпрямительного диода Шоттки VD3 блока «Нелинейные элементы» на постоянном токе в соответствии с рис. 1.5, заменив в схеме выпрямительный диод VD1 на диод Шоттки VD3. Представить схему для проверки преподавателю.

5. Снять прямую и обратную ветви диода Шоттки, выполнив пункты 2,3 для этого диода.

6. В одной системе координат построить графики ВАХ для обоих диодов. Там же следует для каждого диода построить ВАХ идеального  $p-n$  - перехода и по формуле (1) при  $I_0$  - усредненном обратном токе соответствующего диода. Необходимый для расчетов параметр  $m \cdot \phi_T$  можно определить по формуле

$$m \cdot \phi_T = \frac{U_2 - U_1}{\ln \frac{I_2}{I_1}}, \text{ где } U_1, I_1, U_2, I_2 \text{ --}$$

координаты двух экспериментальных точек ВАХ диода в области малых токов, но существенно отличающихся по величине (например, на порядок).

7. На основе экспериментальных данных построить зависимости для двух диодов:

$$r_B = f(I_D); R_{ст} = f(I_D); r_{дф} = f(I_D) \text{ при } U_D \geq 0;$$

$$R_{ст}(U_D); r_{дф} = (U_D) \text{ при } U_D < 0$$

8. Провести линеаризацию прямых и обратных ветвей ВАХ исследуемых диодов и рассчитать параметры схем замещения. Построить схемы замещения диодов с указанием полученных параметров.

## Контрольные вопросы

1. Физические процессы и основные свойства  $p-n$  — перехода.

2. Устройство, классификация и принцип работы полупроводниковых диодов.
3. ВАХ, статические и дифференциальные параметры полупроводниковых диодов. Зависимость ВАХ от температуры. Почему зависимость тока от напряжения сильнее линейной (экспоненциальная) при прямом включении диода и слабее (практически не зависит от напряжения) - при обратном включении?
4. Емкость диода, и его влияние на частотные свойства и переходные процессы.
5. Линеаризация ВАХ и схемы замещения.