

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Степанов Павел Иванович  
Должность: Руководитель НТИ НИЯУ МИФИ  
Дата подписания: 24.03.2023 13:13:01  
Уникальный программный ключ:  
8c65c591e26b2d8e460927740cf752622aa3b295

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

---

Новоуральский технологический институт –  
филиал федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ»

УТВЕРЖДЕНА  
Ученым советом НТИ НИЯУ МИФИ  
Протокол №3 от 24.04.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ  
ДИСЦИПЛИНЫ  
«Силовые  
полупроводниковые  
ключи»

Направление подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль подготовки: «Электропривод и автоматика»  
Квалификация выпускника: бакалавр  
Форма обучения: Очно-заочная

Новоуральск 2023

Объем учебных занятий в часах:

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Семестр                              | 7       |
| Трудоемкость, ЗЕТ                    | 5       |
| Трудоемкость, ч.                     | 180     |
| Аудиторные занятия, в т.ч.:          | 52      |
| - лекции                             | 18      |
| - лабораторные занятия               | 16      |
| - практические занятия               | 18      |
| Самостоятельная работа               | 92      |
| Контроль                             | 36      |
| Форма итогового контроля             | экзамен |
| Из них занятия в интерактивной форме | 18      |

Учебную программу составил ст. преподаватель кафедры промышленной электроники НТИ НИЯУ МИФИ Тунёва Анна Александровна

Рабочая программа составлена в соответствии с Образовательным стандартом высшего образования Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», (квалификация (степень) бакалавр), утвержденный **ученым советом** университета и **рабочим учебным планом** (РУП) по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль "Электропривод и автоматика",

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование фундаментальных знаний в области электромагнитных явлений и их применения для решения проблем электромеханики и электроэнергетики.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В соответствии с кредитно-модульной системой подготовки бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» учебная дисциплина «Силовые полупроводниковые ключи» входит в вариативную часть основного раздела общепрофессионального модуля.

Изучение дисциплины рекомендовано по примерному РУП осуществлять в седьмом семестре.

Изучение данной дисциплины базируется на сумме знаний и практических навыков, полученных студентами на предметах:

***Физические основы электроники***

***Электронные цепи и микросхемотехника***

Методы, развиваемые в курсе, являются базовыми при изучении других компонентов цикла и спецпредметов, например: ***Энергетическая электроника. Системы управления преобразовательными устройствами***

Также они применяются при решении большинства прикладных задач.

Предшествующий уровень образования обучаемого – среднее (полное) общее образование, среднее профессиональное образование.

### 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ И ИХ СООТНОШЕНИЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Данный раздел устанавливает сквозное соотношение между планируемым результатом (ПР) в данной учебной дисциплине (УД) и образовательной программе (ОП).

#### 3.1. Планируемые результаты освоения образовательной программы, относящиеся к учебной дисциплине

В результате освоения дисциплины «Силовые полупроводниковые ключи» студент должен обладать следующими компетенциями (Таблица 1)

Таблица 1 Компетенции, реализуемые при изучении дисциплины

| Код компетенции                     | Компетенции                                                                                                                             |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                         |
| ПК-4                                | Способен соблюдать и оценивать параметры пусковых режимов оборудования с обеспечением современного и безопасного включения его в работу |
| <b>воспитательные компетенции</b>   |                                                                                                                                         |
| В-26                                | Формирование ответственности и аккуратности в работе с электротехническим оборудованием                                                 |
| В-27                                | Формирование коммуникативных навыков в области эксплуатации электротехнического оборудования                                            |

### **3.2. Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине**

В результате освоения дисциплины «Силовые полупроводниковые приборы» студент должен:

#### **Знать:**

- 31 – Конструкцию, принцип действия и физические процессы, протекающие в силовых полупроводниковых ключах;
- 32 - Маркировку, параметры и систему обозначений силовых полупроводниковых ключей;
- 33 – Анализ статических, динамических и тепловых характеристик силовых полупроводниковых ключей;
- 34 - Типовые модели схем управления силовыми полупроводниковыми ключами; формирователи импульсов управления для силовых полупроводниковых ключей;
- 35 – Методы и схемы защиты силовых полупроводниковых ключей.

#### **Уметь:**

- У1 - выбирать элементы защиты силовых полупроводниковых ключей для конкретных устройств и условий применений.
- У2 – провести расчет энергетических потерь и КПД в преобразователе.

#### **Владеть:**

- В1 – навыками выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых приборов;

## 4. Структура и содержание учебной дисциплины

Общий объем дисциплины при очно-заочной форме обучения (ОЗО) 5 ЗЕТ, 180 ч..

### 4.1. Структура учебной дисциплины.

Соотношение лекций, практических занятий, лабораторных занятий, с их трудоёмкостью в часах, самостоятельной работой и методами контроля по каждому из семестров рассмотрено в п. 4.1.1 – 4.1.4.

#### 4.1.1 Семестр – 7 Трудоёмкость 5 ЗЕТ, 180 ч., экзамен

Таблица 3

| №<br>п/п | Название темы/раздела учебной дисциплины                   | Виды учебных занятий, и их трудоемкость (в часах) |                      |                      |                 |                        | Ссылка на ПР УД | Форма контроля |
|----------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|------------------------|-----------------|----------------|
|          |                                                            | Лекции                                            | Практические занятия | Лабораторные занятия | Курсовые работы | Самостоятельная работа |                 |                |
| 1        | 2                                                          | 3                                                 | 4                    | 5                    | 6               | 7                      | 8               | 9              |
| 1.       | Базовые структуры силовых полупроводниковых приборов (СПП) | 4                                                 | -                    | 12                   | -               | 18                     | 31, 32          | ТПА, К1        |
| 2.       | Характеристики и параметры СПП                             | 4                                                 | -                    |                      | -               | 20                     | 33, В1          | ТПА, ЛР1-3     |
| 3.       | Управление СПП                                             | 4                                                 |                      | 4                    | -               | 18                     | 34, В1          | ТПА, К2, ЛР4   |
| 4.       | Методы и схемы защиты СПП                                  | 4                                                 | 6                    | -                    | -               | 18                     | 35, У1          | ТПА, ПР1, К3   |
| 5.       | Особенности применения СПП                                 | 2                                                 | 12                   |                      | -               | 18                     | У2              | ТПА, ПР2, К4   |
|          | Итого:                                                     | 18                                                | 18                   | 16                   | -               | 92                     |                 |                |
| 6.       | Контроль – зачет                                           |                                                   |                      |                      |                 |                        |                 |                |

Примечание: ТПА– тест промежуточной (итоговой) аттестации по дисциплине,

ПР- практическая аудиторная работа,

К – конспект по теме,

ЛР – защита лабораторной работы

## Содержание 7 семестр (18 часов лекций)

Таблица 4

| часы                                                        | лекции | Темы и содержание лекционных занятий                                                                            |
|-------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                           | 2      | 3                                                                                                               |
| <b>Базовые структуры силовых полупроводниковых приборов</b> |        |                                                                                                                 |
| 4                                                           | Л1(2)  | Классификация СПК. Маркировка, параметры и система обозначений СПК.                                             |
|                                                             | Л2(2)  | Устройство, структуры, принцип действия и анализ характеристик силовых диодов, транзисторов, тиристоров.        |
| <b>Характеристики и параметры СПП</b>                       |        |                                                                                                                 |
| 4                                                           | Л3(2)  | Анализ областей безопасных режимов СПК. Влияние температуры на параметры силовых приборов.                      |
|                                                             | Л4(2)  | Потери в силовых полупроводниковых ключах. Тепловые сопротивления.                                              |
| <b>Управление СПП</b>                                       |        |                                                                                                                 |
| 4                                                           | Л5(2)  | Основные типы формирователей импульсов управления (ФИУ) для силовых полупроводниковых ключей.                   |
|                                                             | Л6(2)  | Драйверы силовых транзисторов и тиристоров. Типовые модели схем управления силовыми полупроводниковыми ключами; |
| <b>Методы и схемы защиты СПП</b>                            |        |                                                                                                                 |
| 4                                                           | Л7(2)  | Основные типы перегрузок по напряжению и току.                                                                  |
|                                                             | Л8(2)  | Защитные цепи силовых ключей.                                                                                   |
| <b>Особенности применения СПП</b>                           |        |                                                                                                                 |
| 4                                                           | Л9(2)  | Основные области применения СПП. Применение силовых ключей в полупроводниковых преобразователях.                |

#### 4.1.2 Практические занятия Семестр 7

Таблица 5

| №<br>п/п         | Тема/раздел<br>учебной<br>дисциплины | Содержание                                                                            | Трудоемко<br>сть, час. |
|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Семестр 7</b> |                                      |                                                                                       |                        |
| 1.               | Методы и схемы<br>защиты СПП         | Расчет сглаживающего RCD – фильтра и<br>выбор элементов                               | 6                      |
| 2.               | Особенности<br>применения<br>СПП     | Расчет потерь и КПД преобразователя.<br>Расчет теплового режима и выбор<br>радиатора. | 12                     |

#### 4.1.3 Лабораторные занятия Семестр 7

Таблица 6

| Тема/раздел<br>учебной<br>дисциплины                                | Содержание                                                                                                              | Трудо-<br>емкость,<br>час. |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Базовые структуры<br>силовых<br>полупроводниковых<br>приборов (СПП) | ЛР1.<br>Статические и динамические характеристики<br>однооперационного тиристора (SCR).                                 | 4                          |
|                                                                     | ЛР2.<br>Статические и динамические характеристики<br>мощного полевого транзистора с<br>изолированным затвором (MOSFET). | 4                          |
| Характеристики и<br>параметры СПП                                   | ЛР3.<br>Статические и динамические характеристики<br>биполярного транзистора с изолированным<br>затвором (IGBT).        | 8                          |
|                                                                     |                                                                                                                         | 16                         |

#### 4.1.4 Самостоятельная работа обучающихся (92 часов)

Самостоятельная работа студента по учебной дисциплине регламентируется «Положением об организации самостоятельной работы студентов в НТИ НИЯУ МИФИ». При очно-заочной форме обучения большая часть материала усваивается самостоятельно, в свободное от работы время и требует большее количество времени.

Темы самостоятельной работы

Таблица 7

| № | темы самостоятельной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1 | <p>Темы конспектов (К1-К4):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ К1 «Устройство, структуры, принцип действия и характеристики современных модификаций силовых ключей»</li> <li>✓ К2 «Источники питания драйверов»</li> <li>✓ К3 «Силовые ключи с интегрированной системой защиты»</li> <li>✓ К4 «Типовые схемы транзисторных и тиристорных ключей»</li> </ul> |

Распределение видов самостоятельной работы и трудоемкость

Таблица 8

| № п/п | Тема/раздел учебной дисциплины                             | Вид самостоятельной работы и ее содержание <sup>1</sup> | Трудоемкость, час. |
|-------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|
| 1.    | Базовые структуры силовых полупроводниковых приборов (СПП) | Проработка текущего теоретического учебного материала   | 18                 |
|       |                                                            | Подготовка и написание конспекта :К1                    |                    |

<sup>1</sup> В соответствии с «Положением об организации самостоятельной работы студентов в НТИ НИЯУ МИФИ»

|    |                                |                                                       |    |
|----|--------------------------------|-------------------------------------------------------|----|
| 2. | Характеристики и параметры СПП | Проработка текущего теоретического учебного материала | 20 |
|    |                                | Подготовка к лабораторным работам: ЛР1-3              |    |
| 3. | Управление СПП                 | Проработка текущего теоретического учебного материала | 18 |
|    |                                | Подготовка и написание конспекта :К2                  |    |
|    |                                | Подготовка к лабораторным работам: ЛР4                |    |
| 4. | Методы и схемы защиты СПП      | Проработка текущего теоретического учебного материала | 18 |
|    |                                | Подготовка к практике пр1                             |    |
|    |                                | Подготовка и написание конспекта :К3                  |    |
|    |                                | Оформление аудиторной работы ПР1                      |    |
| 5. | Особенности применения СПП     | Проработка текущего теоретического учебного материала | 18 |
|    |                                | Подготовка и написание конспекта :К4                  |    |
|    |                                | Подготовка к практике пр2                             |    |
|    |                                | Оформление аудиторной работы ПР2                      |    |
| 6. | Подготовка к экзамену          |                                                       | 36 |

## **5. Информационно-образовательные технологии**

Рекомендации для преподавателя по использованию информационно-образовательных технологий содержатся в «Положении об организационных формах и технологиях образовательного процесса в НТИ НИЯУ МИФИ».

При изучении данной дисциплины предусмотрена контактная работа студента с преподавателем в объеме 52 часов. Контактная форма включает занятия лекционного типа, практические и лабораторные занятия.

Кроме этого, предусмотрена интерактивная форма работы со студентом на лабораторных работах 18 часов: это диалоговое обучение, в ходе которого осуществляется взаимодействие преподавателя и обучающегося и обучающихся между собой при проведении исследований, а также при защите результатов.

Практические занятия проходят в активной форме. Вначале преподаватель объясняет ход решения задачи, а затем выдает варианты задач студентам, причем варианты могут быть как индивидуальными, так и групповыми (объединение по 2-3 человека). Работа в группе позволяет студентам обсудить алгоритм решения задачи, сформировать навыки коммуникативного характера.

В ходе практического занятия преподаватель консультирует студентов по мере возникновения вопросов и контролирует ход решения каждого студента (группы).

Отчеты по практическим заданиям оформляются самостоятельно и сдаются преподавателю, это позволяет сформировать навыки оформления текстовой документации.

В ходе лекции преподаватель излагает материал в форме монолога, отвечая на вопросы студентов по ходу изложения. Некоторые темы предполагают самостоятельную работу студентов (таблица 7). Студент о выполненной работе отчитывается наличием конспекта в тетради.

В течение семестра проводятся консультации, где преподаватель при личном общении помогает студенту освоить сложные для него темы, метод решения заданных задач.

В конце семестра преподаватель подводит итог и по набранным баллам допускает либо нет студента до экзамена. Средства для контроля и оценки указаны в ФОС промежуточного контроля (приложение 4).

## Перечень программного обеспечения и информационные справочные системы

При выполнении лабораторных работ, при оформлении отчетов и иных текстовых документов студент может воспользоваться следующими продуктами лицензионного ПО, имеющегося в НТИ НИЯУ МИФИ

Таблица 11

| Наименование ПО                         | Лицензия                                            | Закупка                                                          |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1                                       | 2                                                   | 3                                                                |
| Windows Server 2008 R2                  | подписка Campus and School Agreement № 6679446      | Договор № 381-877за от 08.12.2014 г.                             |
| Windows XP Professional                 | подписка Campus and School Agreement № 6679446      | Договор № 381-877за от 08.12.2014 г.                             |
| Windows 7 Professional                  | подписка Campus and School Agreement № 6679446      | Договор № 381-877за от 08.12.2014 г.                             |
| Windows 8.1                             | подписка Campus and School Agreement № 6679446      | Договор № 381-877за от 08.12.2014 г.                             |
| Microsoft Office 2007 Enterprise        | подписка Campus and School Agreement № 6679446      | Договор № 381-877за от 08.12.2014 г.                             |
| Microsoft Office 2010 Professional Plus | подписка Campus and School Agreement № 6679446      | Договор № 381-877за от 08.12.2014 г.                             |
| Антивирус Касперский                    |                                                     | Договор № 381-370а от 23.11.2012 г.                              |
| Mathcad 14.0                            |                                                     | лицензия приобретена по договору № 334С/5П-2008 от 21.10.2008 г. |
| 7-Zip                                   | Свободно распространяемое ПО, лицензия не требуется |                                                                  |
| Adobe Reader X                          | Свободно распространяемое ПО, лицензия не требуется |                                                                  |
| Mozilla Firefox                         | Свободно распространяемое ПО, лицензия не требуется |                                                                  |
| Opera                                   | Свободно распространяемое ПО, лицензия не требуется |                                                                  |
| Electronics Workbench v5.12             | Свободно распространяемое ПО, лицензия не требуется |                                                                  |

Учебная дисциплина обеспечена учебно-методической документацией и материалами. Её содержание представлено в локальной сети учебного заведения и находится в режиме свободного доступа для студентов. Доступ студентов для самостоятельной подготовки осуществляется через компьютеры дисплейного класса (в стандартной комплектации).

Библиотека имеет электронный каталог, который ведется с 1999 года. Собственные базы данных электронного каталога составляют:

- Электронный каталог книг
- ЭК «Фонд редких книг»
- ЭК «Госты»
- ЭК «Краеведение НТИ»
- ЭК «Высшая школа»
- АИБС «МАРК-SQL» (<http://mars.arbicon.ru/>)
- Корпоративная сеть библиотек Урала «Consensus omnium» (<http://opac.urfu.ru/consensus/>)
- <http://arbicon.ru/>

## 6. Оценочные средства для контроля успеваемости работы студентов

Для оценки достижений студента используется *балльно-рейтинговая система, представленная в приложении 3.*

Для проведения промежуточного контроля достижений студента используется ФОС промежуточного контроля, *представленный в приложении 4.*

- В семестре студент должен выполнить и защитить лабораторные работы, которые контролируют **навыки** исследований студента применить полученные знания в соответствии с ПРУД.
- В семестре студент должен выполнить ряд практических работ, которые контролируют **умения** студента применить полученные знания в соответствии с ПРУД.
- В семестре студент должен самостоятельно проработать ряд конспектов, контролирующих формируемые **знания**.
- Текущий контроль по дисциплине в семестре позволяет набрать максимум – 40 баллов.
- Посещаемость и активность на практических занятиях, а также своевременное и оригинальное выполнение работ за семестр может принести ещё до 10 баллов за личностные качества студента;
- Допуском до экзамена является 20 баллов;
- При промежуточной аттестации по предмету используется тестирование, состоящее из вопросов, которые контролируют знания, сформированные у студента, и задач, которые контролируют умения, сформированные у студента за текущий семестр изучения дисциплины, на выполнение даётся 2 часа; итого максимальное количество баллов на зачете 50 баллов.
- Результатом является общий суммарный рейтинг, оценка выставляется при наборе не менее 60 баллов с указанием этой суммы и соответствующей оценки.

| Оценка по 5 бальной шкале | Зачет      | Сумма баллов по дисциплине | Оценка (ECTS) | Градация            |
|---------------------------|------------|----------------------------|---------------|---------------------|
| 5 (отлично)               | Зачтено    | 90-100                     | A             | Отлично             |
| 4 (хорошо)                |            | 85-89                      | B             | Очень хорошо        |
|                           |            | 75-84                      | C             | Хорошо              |
|                           |            | 70-74                      | D             | Удовлетворительно   |
| 65-69                     |            |                            |               |                     |
| 3 (удовлетворительно)     |            | 60-64                      | E             | Посредственно       |
| 2 (неудовлетворительно)   | Не зачтено | Ниже 60                    | F             | Неудовлетворительно |

## **6.1 Основные требования к результатам освоения дисциплины «Силовые полупроводниковые ключи»**

### **Перечень вопросов к экзамену**

- 1 Какие полупроводниковые приборы относят к силовым?
- 2 Маркировка силовых полупроводниковых диодов?
- 3 Что такое режим лавинного пробоя?
- 4 В чем отличие и преимущество диодов Шоттки от диодов на основе р-п перехода?
- 5 Что такое время обратного восстановления
- 6 В чем особенности структуры силового биполярного транзистора?
- 7 Чем определяется быстродействие силового биполярного транзистора?
- 8 Принцип действия тиристора?
- 9 Условия включения и выключения тиристора?
- 10 Вольтамперная характеристика тиристора?
- 11 Структура тиристор-диод?
- 12 Структура симметричного тиристора (симистора)?
- 13 Принцип действия симметричного тиристора (симистора)?
- 14 Структура запираемого тиристора (GTO-тиристор)?
- 15 Что такое класс тиристора?
- 16 Какие виды тириستоров используются в силовой электронике?
- 17 Как определяется время включения и выключения тиристора?
- 18 Структуры мощных силовых МДП-транзисторов (MOSFET)?
- 19 Эквивалентная электрическая схема мощного МДП-транзистора (MOSFET) с учетом «паразитных» элементов?
- 20 Статические характеристики мощного МДП-транзистора (MOSFET)?

- 21 Особенности переключения мощного МДП-транзистора (MOSFET), эффект Миллера?
- 22 Пути снижения сопротивления канала открытого мощного МДП-транзистора (MOSFET)?
- 23 Структура статического индукционного транзистора (SITr)?
- 24 Вольтамперные характеристики статического индукционного транзистора (SITr)?
- 25 Структуры биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT)?
- 26 Эквивалентная электрическая схема биполярного транзистора с изолированным затвором (IGBT)?
- 27 Особенность процесса выключения биполярного транзистора с изолированным затвором (IGBT)?
- 28 Структура и эквивалентная электрическая схема статического индукционного тиристора (SITh)?
- 29 Тиристоры, коммутируемые по цепи управления (GCT и IGCT)?
- 30 Структура тиристоров с полевым управлением (MCT) n- и p-типа?
- 31 Эквивалентная электрическая схема тиристора с полевым управлением (MCT)?
- 32 Предельные характеристики силовых полупроводниковых приборов?
- 33 Влияние температуры на характеристики силовых полупроводниковых приборов?
- 34 Потери в силовых полупроводниковых приборах?
- 35 Что такое тепловое сопротивление?
- 36 Выбор силового полупроводникового прибора, обобщенная последовательность выбора?

- 37 Что такое драйвер?
- 38 Обобщенная структурная схема драйвера?
- 39 Функции драйвера?
- 40 Классификация драйверов?
- 41 Схемы драйверов с одновременной передачей энергии и информации?
- 42 Схемы драйверов с отдельной передачей энергии и информации?
- 43 Источники питания драйверов?
- 44 Защита силовых полупроводниковых приборов от токов короткого замыкания, от превышения температуры, от недонасыщения?
- 45 Причины перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах?
- 46 Защитные цепи (снабберы) от перенапряжений?

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1 Основная литература**

1. **Воронин П.А.** Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. Учебник Издательство:Додэка-XXI :978-5-94120-087-0ISBN:2010Год:2-е, перераб. и доп. Издание: 381 стр. **Количество экз. – 10**

### **7.2 Дополнительная литература**

1. **Воронин П. А.** Силовые полупроводниковые ключи : Семейства. Характеристики. Применение / П. А. Воронин. - М. :Додэка-XXI, 2003. - 384 с. Количество экз. – 34
2. **Пасынков В. В.** Полупроводниковые приборы : учеб.для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - 6-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2002. - 480 с. Количество экз. – 6
3. **Аксенов А. И.** Транзисторы биполярные Транзисторы биполярные и полевые. Выпрямительные диоды. Варикапы. Стабилитроны и стабисторы. Ограничительные диоды. Тиристоры. Оптоэлектронные приборы. Зарубежные аналоги отечественных приборов / А. И. Аксенов, А. В. Нефедов. - М. : Солон-Р, 2002. - 312 с. Количество экз. – 6

### **7.3 Методическое обеспечение**

1. Ефимов А.А. Лабораторный практикум по курсу «Силовые полупроводниковые ключи». - Новоуральск: НТИ, 2012. -64 с.
2. Тунева А.А. Расчет потерь и КПД преобразователя. Задания и методические указания к выполнению практического задания для студентов бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по курсу “Силовые полупроводниковые ключи” Методические указания сопровождаются примерами решения и достаточным набором вариантов исходных данных для домашнего задания. .-Новоуральск: НТИ НИЯУ МИФИ ,2015.-16 с.:ил
3. Тунева А.А. Расчет параметров выравнивающих RCD – цепочек. Задание и методические указания к выполнению практического задания для студентов бакалавров по направлению 13.03.02

«Электроэнергетика и электротехника» по курсу “Силовые полупроводниковые ключи” Методические указания сопровождаются примерами решения и достаточным набором вариантов исходных данных для домашнего задания. .-Новоуральск: НТИ НИЯУ МИФИ ,2015.-10 с.:ил

#### **7.4 Методические руководства и пособия для самостоятельной работы студентов**

1. Стандарт организации, требования к оформлению текстовой документации СТО НТИ –2-2014 .- Новоуральск: НТИ, 2014. - 147с., ил.

**7.5 Информационное обеспечение (включая перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»)**

1. <http://nsti.ru>
2. научная библиотека e-librari
3. ЭБС «Лань»
4. ЭБС «IPRbooks»

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебная дисциплина обеспечена учебно-методической документацией и материалами. Её содержание представлено в локальной сети учебного заведения и находится в режиме свободного доступа для студентов. Доступ студентов для самостоятельной подготовки осуществляется через компьютеры дисплейного класса (в стандартной комплектации).

Лабораторные работы по курсу осуществляются в специализированной лаборатории. Студенты проходят первичный инструктаж по технике безопасности.

а. Лаборатория (513) "Электроники и микроэлектроники":

- Лабораторные стенды по курсу "Силовые полупроводниковые ключи" – 3 шт;

- Генератор Г5-54 – 5 шт;
- Осциллограф С1-137 – 25 шт;
- Мультиметр М890D – 25 шт;
- Комбинированный измерительный прибор типа Ц4353 – 20 шт;
- Источники питания Б5-44А – 20 шт.

в. методическими указаниями по выполнению лабораторных работ в комплекте 5+1 штук

Рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,

Рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде размещены в компьютерных классах (110, 107, 232, 234) и электронном зале библиотеки.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1.            ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

1. Стандарт организации, требования к оформлению текстовой документации СТО НТИ –2-2014 .- Новоуральск: НТИ, 2014. - 147с., ил.
2. Положение об организации самостоятельной работы обучающихся НТИ НИЯУ МИФИ.- Новоуральск: НТИ, 2014. -12 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для освоения дисциплины студент должен проработать, согласно рабочей программе, теоретический материал, представленный в разделе 4, воспользовавшись перечнем основной и дополнительной литературы, а также выполнить практические работы по соответствующим темам, используя методические разработки, представленные в приложении 1 и по [7.3.2] .

Лабораторные работы необходимо выполнять на стендовом оборудовании. Методическое обеспечение представлено в приложении 1, а сам материал в электронном читальном зале библиотеки и в лаборатории непосредственно.

По окончании изучения дисциплины в семестре проводится контроль в форме зачета 8з. Описание и ожидаемые результаты представлены в разделе РП 6.1 – 6.2.

Фонд оценочных средств для промежуточной (итоговой) аттестации по предмету представлен в приложении 4.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3. БАЛЛЬНО – РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

Ниже приведен вариант распределения баллов.

| №<br>вар<br>иан<br>та | ФИО студента | Баллы за<br>личностны<br>е качества | конспекты |     |   |     | практика |    | лабораторные работы |     |    |     |    |  |    |  | Текущая аттестация |   |     |     | Итоговая аттестация |                    |        | №<br>зач<br>. кн |
|-----------------------|--------------|-------------------------------------|-----------|-----|---|-----|----------|----|---------------------|-----|----|-----|----|--|----|--|--------------------|---|-----|-----|---------------------|--------------------|--------|------------------|
|                       |              |                                     |           |     |   |     | №1       | №2 | №1                  |     | №2 |     | №3 |  | №4 |  | л.к.               | к | пр. | л/р | Баллы<br>за тест    | Баллы<br>суммарные | оценка |                  |
|                       |              |                                     | В         | Защ | В | Защ |          |    | В                   | Защ | В  | Защ |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     |    |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |
|                       |              |                                     |           |     |   |     |          |    |                     |     | </ |     |    |  |    |  |                    |   |     |     |                     |                    |        |                  |

**Темы лабораторных работ (16 баллов):**

- 1 «статические характеристики однооперационного тиристора (SCR)»,
- 2 «исследование свойств и характеристик MOSFET»
- 3 «исследование свойств и характеристик IGBT»
- 4 «изучение работы драйвера силовых транзисторов»

**Темы практик (16 баллов):**

- 1 Расчёт защитной RC – цепи для тиристора
- 2 Расчет потерь и КПД преобразователя

**Темы конспекта(8 баллов):**

- ✓ K1 «Устройство, структуры, принцип действия и характеристики современных модификаций силовых ключей»
- ✓ K2 «Источники питания драйверов»
- ✓ K3 «Силовые ключи с интегрированной системой защиты»
- ✓ K4 «Типовые схемы транзисторных и тиристорных ключей»

**Дополнительно по желанию:** Презентация на тему конспекта.

## Приложение 4. Фонд оценочных средств

### Пример практики 4

#### ЗАДАНИЕ

1. Для заданного в таблице 1 силового VS ключа (варианты 1-12) выполнить расчет пиковой (импульсной) и средней мощности:

$$P_{\text{ИМП}} = V_{T(TO)} \cdot i_T + r_T \cdot i_T^2$$

$$P_0 = V_{T(TO)} \cdot I_{Tav} + r_T \cdot I_{TRMS}^2$$

Для заданного в таблице 1 силового VT ключа (варианты 13-24) выполнить расчет пиковой (импульсной) и средней мощности:

$$P_{\text{ИМП}} = V_{T(TO)} \cdot i_F + r_T \cdot i_F^2$$

$$P_0 = P_{tot}$$

2. При температуре окружающей среды 25°C вычертить схему замещения теплового сопротивления для режима импульсных и постоянных токов.
3. Рассчитать тепловое сопротивление охладителя:
  - а) для режима импульсных токов по величине пиковой мощности,
  - б) для режима постоянных токов по средней мощности:
4. Выбрать из таблицы охладитель, соответствующий конструкции ключа и проверить, подходит ли он, по формуле:

$$T_j^* = P_0 \cdot \sum_{1}^3 R_{th} - T_a = P_0 \cdot (R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}) - T_a$$

5. Полученная температура должна составлять 80% от максимально возможной.

#### Примечание:

1.  $R_{thcs} = R_{thch}$
2. Разность температур одинакова как в Кельвинах, так и в Цельсиях.

Таблица 1

| вариант | спк    |       | вариант | спк           |        |
|---------|--------|-------|---------|---------------|--------|
| 1,7     | SKT 10 | B3-7  | 13,19   | SKM200GA123D  | B6-71  |
| 2,8     | SKT 16 | B3-7  | 14,20   | SKM300GA123D  | B6-83  |
| 3,9     | SKT 24 | B3-7  | 15,21   | SKM300GA173D  | B6-89  |
| 4,10    | SKT 40 | B3-13 | 16,22   | SKM400GA123D  | B6-101 |
| 5,11    | SKT 50 | B3-13 | 17,23   | SKM400GA173D  | B6-107 |
| 6,12    | SKT 55 | B3-17 | 18,24   | SKM500GA123DS | B6-113 |

B3-7 – страница с параметрами ключа в [1].

### Пример теста промежуточной аттестации темы

#### Часть В к экзамену по дисциплине «Силовые полупроводниковые приборы»

Фамилия, имя студента,

группа.....

Задание №1. **Изобразить условное графическое изображение** полупроводникового прибора. **Указать наименование электродов СПК**

| Полупроводниковый прибор | Условное графическое изображение | Полупроводниковый прибор        | Условное графическое изображение |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Тиристор SCR             |                                  | Полевой транзистор MOSFET       |                                  |
| Тиристор GTO             |                                  | Комбинированный транзистор IGBT |                                  |

Задание №2. Изобразить типовую схему защиты тиристорного преобразователя от **токовых перегрузок**.

Задание №3. Какие параметры указаны в маркировке прибора? SKT600/12E

Задание №4. Рассчитать тепловое сопротивление охладителя для силового ключа по временной диаграмме. Потери на управление не учитывать.

$E = 600\text{В}$ ,  $I_{\max} = 20\text{А}$ ,  $f = 0,3\text{ кГц}$   $R_{jc} = 0.12\text{К/В}$ ,  $R_{jc\text{ vd}} = 0.25\text{ К/В}$ ,  $R_{cs} = 0.038\text{ К/В}$

**Часть В к экзамену по дисциплине  
«Силовые полупроводниковые приборы»**

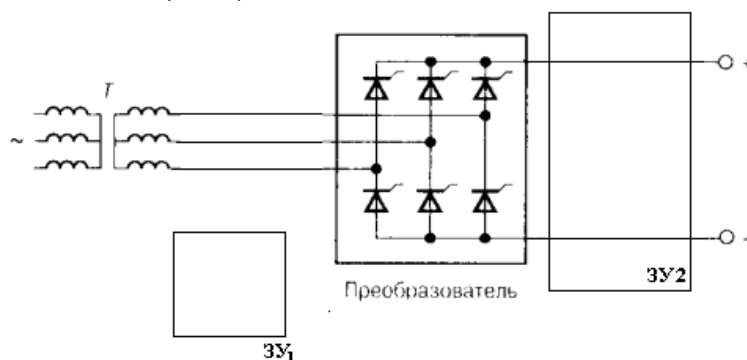
Фамилия, имя студента,

группа.....

Задание №1. Изобразить условное графическое изображение полупроводникового прибора. Указать наименование электродов СПК

| Полупроводниковый прибор | Условное графическое изображение | Полупроводниковый прибор        | Условное графическое изображение |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Тиристор SCR             |                                  | Полевой транзистор MOSFET       |                                  |
| Тиристор GTO             |                                  | Комбинированный транзистор IGBT |                                  |

Задание №2. Дополнить схему защитой от сетевых скачков напряжения (ЗУ1) и от перенапряжения на ключе (ЗУ2).



Задание №3. . Какие параметры указаны в маркировке прибора? SKM200GB12/5D

Задание №4. Рассчитать тепловое сопротивление охладителя для силового ключа по временной диаграмме. Потери на управление не учитывать.

$$E = 400\text{В}, I_{\max} = 20\text{А}, f = 0,2\text{кГц}, R_{jc} = 0.14\text{K/W}, R_{jc\text{ vd}} = 0.20\text{ K/W}, R_{cs} = 0.027\text{ K/W}$$

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль "Электропривод и автоматика"

**Дополнения и изменения к рабочей программе:**

на 20\_\_\_\_/20\_\_\_\_ уч.год

в рабочую программу вносятся следующие изменения:

1.

---

---

---

---

---

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры

«\_\_\_\_»\_\_\_\_20\_\_г.

Заведующий кафедрой ПЭ \_\_\_\_\_

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры

«\_\_»\_\_\_\_20\_\_г.

Заведующий кафедрой ПЭ \_\_\_\_\_

Программа действительна

на 20\_\_\_\_/20\_\_\_\_ уч.год \_\_\_\_\_(заведующий кафедрой ПЭ)

на 20\_\_\_\_/20\_\_\_\_ уч.год \_\_\_\_\_(заведующий кафедрой ПЭ)

на 20\_\_\_\_/20\_\_\_\_ уч.год \_\_\_\_\_(заведующий кафедрой ПЭ)