

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Промышленная электроника и микропроцессорная техника**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Полупроводниковые ключи в силовых схемах**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Воронин П.А.
	Идентификатор	R8090f709-VoroninPA-bf2fdc05

(подпись)

П.А.

Воронин

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рашитов П.А.
	Идентификатор	R66e8dfb1-RashitovPA-1953162c

(подпись)

П.А.

Рашитов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Асташев М.Г.
	Идентификатор	R7a29e524-AstashevMG-0583186

(подпись)

М.Г.

Асташев

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен проводить и сопровождать работы по проектированию устройств электроники и нанoeлектроники в соответствии с требованиями технического задания

ИД-1 Знает современный технологический базис и технические решения и осуществляет выбор на основе технических требований к устройствам электроники и нанoeлектроники

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Мощные диоды и биполярные транзисторы (Контрольная работа)
2. Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой (Контрольная работа)
3. Мощные МДП-транзисторы с резистивной нагрузкой (Контрольная работа)
4. Полупроводниковые ключи в мостовых схемах (Контрольная работа)

### БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Полупроводниковые ключи на основе силовых диодов и мощных биполярных транзисторов					
Ключи на силовых диодах и биполярных транзисторах		+			
Униполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (мощные МДП и индукционные транзисторы)					
Ключи на мощных МДП-транзисторах.			+	+	
Биполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (IGBT и тиристоры с электростатической индукцией)					
Ключи на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) и ключи на полевых транзисторах со статической индукцией.				+	
Мощные тиристорные ключи, силовые ключи новых технологий					
Силовые ключи новых технологий.				+	
	Вес КМ:	25	25	25	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1ПК-1 Знает современный технологический базис и технические решения и осуществляет выбор на основе технических требований к устройствам электроники и наноэлектроники	Знать: базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения ключей на МДП-транзисторах при работе на комплексную нагрузку базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения тиристоров новых технологии базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения IGBT при работе на комплексную нагрузку базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения биполярных транзисторных ключей при работе на комплексную	Мощные диоды и биполярные транзисторы (Контрольная работа) Мощные МДП-транзисторы с резистивной нагрузкой (Контрольная работа) Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой (Контрольная работа) Полупроводниковые ключи в мостовых схемах (Контрольная работа)

		<p>нагрузку Уметь: рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на МДП-транзисторах рассчитывать электромагнитные процессы в схемах биполярных транзисторных ключей рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на IGBT рассчитывать электромагнитные процессы в схемах тиристоров новых технологий</p>	
--	--	--	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Мощные диоды и биполярные транзисторы

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает индивидуальное задание

#### Краткое содержание задания:

Переходные процессы в мощных диодах и биполярных транзисторах

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения биполярных транзисторных ключей при работе на комплексную нагрузку	1. Построить диаграммы переходного процесса выключения мощного диода 2. Построить диаграммы переходного процесса переключения мощного биполярного транзистора
Уметь: рассчитывать электромагнитные процессы в схемах биполярных транзисторных ключей	1. Рассчитать амплитуду обратного тока диода, основные динамические параметры диода при выключении, энергию и мощность динамических потерь в диоде при выключении 2. Рассчитать критический ток транзистора на границе преднасыщения и основные динамические параметры транзистора

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-2. Мощные МДП-транзисторы с резистивной нагрузкой

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает индивидуальное задание

**Краткое содержание задания:**

Переходные процессы в мощных МДП-транзисторах с резистивной нагрузкой

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения ключей на МДП-транзисторах при работе на комплексную нагрузку	1. Нарисовать эквивалентную схему ключа на мощном МДП-транзисторе с учетом всех емкостных составляющих. Пояснить физическую сущность эффекта Миллера. 2. Построить диаграммы переходного процесса переключения мощного МДП-транзистора.
Уметь: рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на МДП-транзисторах	1. Рассчитать кажущуюся входную емкость МДП-транзистора при действии эффекта Миллера 2. Рассчитать основные динамические параметры транзистора, мощность и энергию динамических потерь.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-3. Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает индивидуальное задание

**Краткое содержание задания:**

Переходные процессы в мощных МДП-транзисторах с индуктивной нагрузкой

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения ключей на МДП-транзисторах при работе на комплексную нагрузку	1. Построить диаграммы переходного процесса переключения мощного МДП-транзистора при работе на индуктивную нагрузку.
Знать: базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения IGBT при работе на комплексную	1. Нарисовать схему транзисторного ключа с индуктивной нагрузкой, шунтированной диодом. 2. Нарисовать схему полумоста на IGBT с индуктивной нагрузкой.



нагрузку	
Уметь: рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на МДП-транзисторах	1. Рассчитать скорость изменения тока стока транзистора при включении и выключении. Пояснить влияние паразитной индуктивности в цепи коммутации на диаграммы процессов переключения. 2. Рассчитать основные динамические параметры транзистора, мощность и энергию динамических потерь.
Уметь: рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на IGBT	1. Рассчитать энергию динамических потерь в схеме при заданном электрическом режиме работы схемы с учетом процессов обратного восстановления встречно-параллельного диода.

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-4. Полупроводниковые ключи в мостовых схемах**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает индивидуальное задание

**Краткое содержание задания:**

Расчет статических и динамических потерь в МДП-ключах

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения ключей на МДП-транзисторах при работе на комплексную нагрузку	1. Построить диаграммы переходного процесса переключения мощного МДП-транзистора при работе на индуктивную нагрузку в схеме полумоста.
Знать: базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения тиристорных новых технологии	1. Нарисовать схему транзисторного и тиристорного ключей с индуктивной нагрузкой для схемы полумоста. Пояснить влияние паразитной индуктивности в цепи коммутации на диаграммы процессов переключения.
Знать: базовые структуры и основные этапы переходных	1. Сравнить режимы работы МДП-ключа и IGBT в мостовой схеме

процессов переключения IGBT при работе на комплексную нагрузку	
Уметь: рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на IGBT	1. Рассчитать скорость изменения тока стока транзистора при включении и выключении. 2. Рассчитать основные динамические параметры транзистора, мощность и энергию динамических потерь.
Уметь: рассчитывать электромагнитные процессы в схемах тиристорных новых технологий	1. Определить параметры кусочно-линейно аппроксимации выходной ВАХ МДП-транзистора, IGBT и тиристора

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации: Экзамен**

### Пример билета

1. Составляющие прямого напряжения силового диода
2. IGBT ключи в инверторных схемах, оценка мощности потерь в отдельной фазе
3. **Практическое задание:** рассчитать начальную скорость нарастания тока стока МДП-транзистора при включении на индуктивную нагрузку, шунтированную диодом, в режиме непрерывного тока.

### Процедура проведения

Каждый студент получает индивидуальный билет и готовит ответ в течение не более чем 60 минут. Ответ - в устной форме на основе подготовки.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-1 Знает современный технологический базис и технические решения и осуществляет выбор на основе технических требований к устройствам электроники и наноэлектроники

### Вопросы, задания

1.
  - 1) Составляющие прямого напряжения силового диода
  - 2) IGBT ключи в инверторных схемах, оценка мощности потерь в отдельной фазе
  - 3) **Практическое задание:** рассчитать начальную скорость нарастания тока стока МДП-транзистора при включении на индуктивную нагрузку, шунтированную диодом, в режиме непрерывного тока.
2.
  - 1) Структура мощного биполярного транзистора, расчет динамических параметров переключения
  - 2) Ключ на МДП транзисторе с общим истоком в схеме с резистивной нагрузкой, расчет временных параметров и потерь мощности
  - 3) **Практическое задание:** Рассчитать величину паразитной индуктивности в контуре коммутации МДП-транзистора при включении на индуктивную нагрузку, шунтированную диодом, в режиме непрерывного тока.
3.
  - 1) Базовые структуры мощных МДП транзисторов с коротким каналом, схема замещения транзистора
  - 2) Полевой и биполярный режимы переключения транзисторов со статической индукцией
  - 3) **Практическое задание:** Рассчитать задержку включения МДП-транзистора при работе на индуктивную нагрузку, шунтированную диодом, в режиме непрерывного тока.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Каков основной механизм пробоя силовых полупроводниковых ключей?

Ответы:

- а) туннельный
- б) сквозной
- в) лавинный
- г) не пробиваются

Верный ответ: в) лавинный

2. Какой транзистор является нормально открытым прибором?

Ответы:

- а) биполярный транзистор
- б) МДП-транзистор с индуцированным каналом
- в) индукционный транзистор
- г) транзистор Дарлингтона

Верный ответ: в) индукционный транзистор

3. Какую структуру имеет силовой диод?

Ответы:

- а) p-n
- б) p-n-p-n
- в) p-n-p
- г) p-n-p

Верный ответ: г) p-n-p

4. В каком слое силового биполярного транзистора сосредоточено электрическое поле в закрытом состоянии?

Ответы:

- а) в эмиттере
- б) в базе
- в) в высоколегированном коллекторе
- г) в низколегированном коллекторе

Верный ответ: г) в низколегированном коллекторе

5. Какую структуру имеет силовой биполярный транзистор?

Ответы:

- а) n-p-n
- б) p-n-p-n
- в) p-n-p
- г) n-p-n-p

Верный ответ: г) n-p-n-p

6. Какой тип тиристора называется запираемым?

Ответы:

- а) однооперационный
- б) двухоперационный
- в) семистор
- г) динистор

Верный ответ: б) двухоперационный

7. Для какого типа тиристора требуется подключение узла коммутации?

Ответы:

- а) однооперационный
- б) двухоперационный
- в) семистор
- г) динистор

Верный ответ: а) однооперационный

8. Какой тип канала имеет силовой МДП-транзистор?

Ответы:

- а) встроенный

- б) индуцированный
- в) низкоомный
- г) параллельный

Верный ответ: б) индуцированный

9. Какой параметр характеризует усилительные свойства силовых полевых транзисторов?

Ответы:

- а) альфа
- б) бета
- в) гамма
- г) крутизна

Верный ответ: г) крутизна

10. Какой слой высоковольтного МДП-транзистора имеет максимальное сопротивление?

Ответы:

- а) высоколегированный слой истока
- б) низколегированный слой стока
- в) высоколегированный слой стока
- г) подложка

Верный ответ: б) низколегированный слой стока

11. Какой тип тиристора коммутирует силовой ток в электрод управления?

Ответы:

- а) одноопрационный
- б) двухоперационный
- в) IGCT
- г) GTO

Верный ответ: в) IGCT

12. Каким напряжением управляются полевые транзисторы?

Ответы:

- а) затвор-сток
- б) сток-исток
- в) затвор-исток
- г) управляются током

Верный ответ: в) затвор-исток

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня*

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.