

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»

Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

учебной дисциплины

ПРИБОРЫ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

по направлению подготовки

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) Микро- и нанoeлектронные устройства

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

П.В.Лысухо
« 05 » июня 2020 г.

Разработал

Преподаватель КФТТМ

А.В.Штро

Зав. КФТТМ, проф.

Б.И.Селезнев
« 26 » 05 2020 г.

Принято на заседании КФТТМ

Протокол № 13 от 02.06 2020 г.

Заведующий кафедрой

Б.И.Селезнев
« 02 » 06 2020 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины «Приборы силовой электроники» (ПСЭ): формирование компетентности у студентов в области физических основ и принципов действия современных приборов и компонентов силовой электроники, необходимой для их дальнейшей профессиональной деятельности.

Задачи:

- изучение конструкции и технологии современной силовой электроники;
- изучение свойств полупроводников в силовых электрических полях и при высоких концентрациях носителей заряда;
- изучение параметров и характеристик важнейших силовых приборов.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника и направленности (профилю) Микро- и нанoeлектронные устройства (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин, изученных студентами при подготовке по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника: «Микроэлектроника и твердотельная электроника», «Схемотехника», «Промышленная электроника». Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения и выполнения научно-исследовательской работы (НИР), предусмотренной данной магистерской программой.

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

Профессиональные компетенции:

- ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники	Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники	Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		3 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	45	45
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	135	135
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	экзамен 36	экзамен 36

4.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1. Цель и задачи изучения приборов силовой электроники.

Тема 2. Основные физические принципы, конструкции и технологии современной силовой электроники.

Тема 3. Дискретные компоненты силовой электроники.

Тема 4. Мощные переключающие полевые транзисторы.

Тема 5. Мощные биполярные транзисторы.

Тема 6. Транзисторы со статической индукцией (БСИТ, IGBT).

Тема 7. Тиристоры.

Тема 8. Интегральные схемы управления ПСЭ.

Тема 9. Интегральные силовые модули.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)					Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная			В т.ч. СРС	Экза мен		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР				
1	Цель и задачи изучения приборов силовой электроники	1	4		1		12	семинар, практикум
2	Основные физические принципы, конструкции и технологии современной силовой электроники	1	4		1		13	семинар, практикум
3	Дискретные компоненты силовой электроники	1	4		1		12	семинар, практикум
4	Мощные переключающие полевые транзисторы	1	4		1		12	семинар, практикум
5	Мощные биполярные транзисторы	1	4		1		12	семинар
6	Транзисторы со статической индукцией (БСИТ,IGBT)	1	4		1		12	семинар
7	Тиристоры	1	4		1		12	семинар, практикум
8	Интегральные схемы управления ПСЭ	1	4		1		13	семинар
9	Интегральные силовые модули	1	4		1		12	практикум
							25	реферат
	Промежуточная аттестация					36		экзамен
	ИТОГО	9	36		9		135	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1	Цель и задачи изучения приборов силовой электроники. Краткий обзор истории развития силовой электроники как средства экономии электроэнергии, материалов, сырья. Достижения российских ученых в области фундаментальных разработок по физике и технике силовых приборов (вводная лекция). Энергетические и экономические параметры и характеристики приборов. Связь между ними. Основные направления развития силовой электроники как средства экономии электроэнергии, материалов, сырья. (информационная лекция)	1

2	Основные физические принципы, конструкции и технологии современной силовой электроники. Свойства полупроводников в силовых электрических полях и при высоких концентрациях носителей заряда (информационная лекция)	1
3	Дискретные компоненты силовой электроники. Мощные диоды с р-п переходом. Мощные диоды Шотки. Опорные диоды. Параметры, конструкции, характеристики. Особенности применения (информационная лекция)	1
4	Мощные переключающие полевые транзисторы. Параметры, конструкции, характеристики, особенности применения (информационная лекция)	1
5	Мощные (силовые и высоковольтные) биполярные транзисторы. Конструкции, характеристики, параметры (информационная лекция)	1
6	Транзисторы со статической индукцией (БСИТ, IGBT) (информационная лекция)	1
7	Тиристоры. Основные физические процессы. Разновидности: симисторы (триаки), тиристоры, проводящие в обратном направлении и др. Конструкции, параметры и характеристики (информационная лекция)	1
8	Интегральные схемы управления ПСЭ (электронными ключами, двигателями, приводами, механизмами, люминесцентными и галогеновыми лампами и т.д.) (информационная лекция)	1
9	Интегральные силовые модули (информационная лекция)	1
	ИТОГО	9

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1	Приборы силовой электроники (семинар). Энергетические и экономические параметры и характеристики приборов (практикум)	4
2	Физические принципы, конструкции и технологии современной силовой электроники (семинар, практикум)	4
3	Дискретные компоненты силовой электроники. Особенности применения (семинар, практикум)	4
4	Мощные переключающие полевые транзисторы (семинар, практикум)	4
5	Мощные биполярные транзисторы (семинар)	4
6	Транзисторы со статической индукцией (БСИТ, IGBT) (семинар)	4
7	Тиристоры, симисторы. Основные физические процессы (семинар, практикум)	4
8	Интегральные схемы управления ПСЭ (семинар)	4
9	Интегральные силовые модули (практикум)	4
	ИТОГО	36

Рекомендации к проведению лекционных занятий.

Теоретическая часть дисциплины направлена на формирование системы знаний о состоянии современной элементной базы, характеристиках важнейших узлов современных силовых систем.

Дополнительная литература, не вошедшая в таблицу Б.2.

1 Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учебное пособие: в 2-х ч. – 3-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – Ч. 1. – 199 с. – Ч.2. – 197 с.

2 Сукер К. Силовая электроника. Руководство разработчика. – Додэкс-XXI, 2008. – 251 с.

3 Блихер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. - Л.: Энергоатомиздат, Ленинград. отделение, 1986. – 248 с.

4 Силовые полупроводниковые приборы / Пер. с англ.; под ред. В.В.Токарева. – 1-е изд. – Воронеж, 1995. – 606 с.

5 Бычков М.Г. Моторола. Компоненты для электропривода. – М.:МЭИ, 1997. – 540 с.

6 Электроника: учеб.для вузов / Изд.прогр."300 лучших учеб. для высш.шк.в честь 300-летия С.-Петербур.". - 5-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Питер, 2004. – 556 с.

7 Розанов Ю.К. Силовая электроника: учеб. для вузов. - М.: МЭИ, 2007. – 631 с.

8 Игумнов Д.В. Основы полупроводниковой электроники: учеб. пособие. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005. - 391с.

Рекомендации к проведению практических занятий

Темы практических занятий полностью совпадают с темами лекций. На практических занятиях студенты изучают особенности конструирования и технологии мощных силовых приборов. Данные занятия позволят студентам включиться в процесс разработки, конструирования и эксплуатации приборов силовой электроники.

1) Семинар

а) Тема семинара: Приборы силовой электроники.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- роль и значение силовой электроники;
- современные приборы и устройства силовой электроники;
- состояние и перспективы развития электронной промышленности.

б) Тема семинара: Виды пробоев p-n переходов.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- какие параметры перехода влияют на напряжения при котором возникает лавинный пробой?

- чем отличается пробой плоского p-n перехода от пробоя планарного перехода?

- как температура p-n перехода влияет на его пробой?

в) Тема семинара: Конструктивные способы увеличения напряжения пробоя p-n перехода в полупроводниковом приборе.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- какие преимущества и недостатки метода «полевая обкладка» по сравнению с методом «снятие фасок»?

- что такое буферная зона и зачем она?

г) Тема семинара: Горизонтальные и вертикальные конструкции полевых транзисторов.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- в чём преимущество вертикальной структуры?

- каким способом увеличивают максимальный допустимый ток через полевой транзистор?

д) Тема семинара: Особенности работы тиристоров по сравнению с транзисторами.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- почему тиристор не применяется в цепях с постоянным током?
- какие особенности применения штыревых и таблеточных корпусов?

2) Практикум

Решение задач.

Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов предусматривает проработку необходимых разделов конспекта лекций и подготовку к практическим занятиям. Самостоятельно изученные теоретические материалы оформляются в виде рефератов, которые обсуждаются на практических занятиях. Крайний срок сдачи рефератов – 18 неделя семестра.

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методического обеспечение учебной дисциплины представлено в приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению	Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения
1.	Наличие учебной аудитории	Учебная мебель, доска
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800x600)
	Программное обеспечение	Microsoft Windows 7 Professional; Dreamspark (Imagine) № 6002662113, 6002662119, 6002662110, 6002662108, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212 Акт предоставления прав № Tr023734 от 29.04.2015: «Права на программы для ЭВМ DreamSpark Premium Online 3 Years», срок: 3 года (с апреля 2015 г. по апрель 2018 г.) Поставщик: ЗАО «СофтЛайн Трейд» Kaspersky Endpoint Security Standard; Лицензия № 1C1C-160801-082918-943-340 (кол-во объектов: 700 users), поставщик: ООО «Системная интеграция», срок пользования ПО: с 01.08.2016г. по 16.08.2018г

Приложение А
(обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины
«Приборы силовой электроники»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1	Семинар	Темы с 1 по 8	15х8	ПК-1
2	Практикум	Темы 1, 2, 3, 4, 7, 9	15х6	
3	Реферат		40	
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	Экзамен		50	
	ИТОГО		300	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Семинар

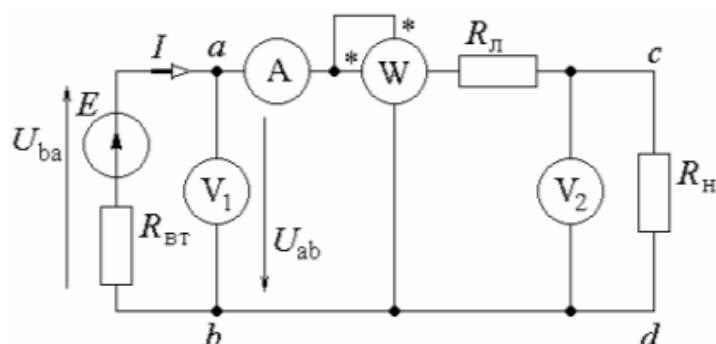
<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>
Уверенно владеет фактическим материалом	1
Активно участвует в семинаре	
Дает ответы на дополнительные вопросы	

2) Практикум

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>
Способен правильно подобрать нужные формулы и правильно их применить	по количеству студентов
Выполнены нужные вычисления и преобразования	
Получен правильный ответ	

Пример решения задачи:

Для цепи на рисунке заданы: $E = 100$ В; $R_{вт} = 1$ Ом; $R_{л} = 3$ Ом; $R_{н} = 6$ Ом.
Определить показания приборов.



Решение:

Ток в цепи (показания амперметра) определен из уравнения, полученного из обобщенного закона Ома, т.е. для замкнутой электрической цепи $I = 100 / (R_{вт} + R_{л} + R_{н}) = 10$ А. Применяя закон Ома для пассивного участка цепи, находим показания второго вольтметра $U_{cd} = IR = 10 \cdot 6 = 60$ В. По закону Ома для активного участка цепи найдем показания первого вольтметра $U_{ab} = E - IR_{вт} = 100 - 10 \cdot 1 = 90$ В. Ваттметр показывает мощность того участка цепи, к которому он подключен $P = U_{ab}I = 90 \cdot 10 = 900$ Вт, где P – мощность, отдаваемая источником во внешнюю цепь и равная сумме мощности потерь в линии (сопротивление $R_{л}$) и мощности приемника (сопротивление $R_{н}$).

3) Реферат

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Соответствие содержания теме и плану реферата	1
Умение обобщать и делать выводы	
Соблюдение требований к оформлению	
Выдержан объем	
Даны правильные ответы на дополнительные вопросы	

Темы рефератов:

- 1 Методы повышения пробивного напряжения р-п перехода.
- 2 Особенности конструкции и области применения IGBT транзисторов.
- 3 Обеспечение отвода тепла от мощных п/п приборов.
- 4 Тиристоры, симисторы. Устройство, принцип работы и применение.

4) Экзамен

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество вопросов
Демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала	11	3 в билете
Задача решена правильно		

Экзамен состоит из двух частей: теоретической и практической. Теоретическая часть экзамена представляет собой два вопроса. Практическая часть экзамена состоит из задачи.

Комплект экзаменационных билетов представлен в закрытой части ФОС (хранится на кафедре).

Вопросы для подготовки к экзамену.

- 1 Энергетические и экономические параметры и характеристики приборов.
- 2 Физические принципы современной силовой электроники.
- 3 Пробой плоского р-п перехода.
- 4 Температурная зависимость напряжения пробоя.
- 5 Отличия пробоя планарного р-п перехода.
- 6 Методы повышающие напряжения пробоя.
- 7 Зависимость коэффициента усиления биполярного транзистора от тока коллектора.
- 8 Конструкции полевых транзисторов с р-п переходом.
- 9 БСИТы (IGBT)
- 10 МОП транзисторы.
- 11 Конструкции МОП транзисторов.
- 12 Тиристоры. Основные физические процессы.
- 13 ВАХ тиристора.
- 14 Параметры влияющие на максимальное допустимое прямое напряжение в закрытом состоянии.
- 15 Неконтролируемое включение тиристора.
- 16 Шунтированный эмиттер.
- 17 Двунправленные переключатели.
- 18 Способы включения симистора.
- 19 Основные электрические цепи с использованием тиристоры.
- 20 Особенности теплового режима силовых приборов.
- 21 Способы охлаждения.

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина **«Приборы силовой электроники»**
Для направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микро- и нанoeлектронные устройства

1. Энергетические и экономические параметры и характеристики приборов.
2. Способы охлаждения.
3. Задача.

Принято на заседании кафедры

«___» _____ 20__ г.

Протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

Приложение Б
(обязательное)

**Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Приборы силовой электроники»**

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Рама Редди С. Основы силовой электроники / Пер. с англ. В.В.Масалова; под ред. Д.П.Приходько. - М.: Техносфера, 2006. – 286 с.: ил.	2	
2 Розанов Ю.К. Силовая электроника: учеб. для вузов. - М.: МЭИ, 2007. – 631 с.	1	
3 Щука А. А. Электроника: учеб. пособие для вузов / А.А.Щука; под ред. А.С.Сигова. - СПб. : БХВ-Петербург, 2006 (2005). - 799 с.	31	
Электронные ресурсы		
1 Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – Ч. 1. – 199 с.; 2000. – Ч. 2. – 197 с. – Режим доступа: http://www.ivtechno.ru/files/s_electro.pdf		
2 Журнал «Практическая силовая электроника». – Режим доступа: http://mmp-irbis.ru/content/journal1.php		
3 Журнал «Силовая электроника» . – Режим доступа: http://power-e.ru/archive.php		

Таблица Б.2 –Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Игумнов Д.В. Основы полупроводниковой электроники: учеб. пособие. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005. - 391с.	2	
2 Электроника: учеб.для вузов / Изд.прогр."300 лучших учеб. для высш.шк.в честь 300-летия С.-Петерб.". - 5-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Питер, 2004. – 556 с.	14	
Электронные ресурсы		
1 Журнал «Электроника. Наука, технология, бизнес». – Режим доступа: http://www.electronics.ru/journal/article/101		
2 Электронные книги: Галле К. Силовая электроника. Как проектировать электронные схемы. 2009. - 202 с. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. 2005. 416 с. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. 2001. 488 с. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. 2001. 333 с. – Режим доступа: http://www.ph4s.ru/book_electronika.html		

Продолжение таблицы Б.2

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
3 Полуянович Н.К. Силовая электроника. – Изд-во: ТРТУ, 2005. – 204 с. – Режим доступа: https://litmy.ru/knigi/apparatura/218526-silovaya-elektronika-2005.html		
4 Статьи. – Режим доступа: http://www.kit-e.ru/articles/powerel/		

Зав. кафедрой _____  Б.Н. Сенеев
подпись И.О.Фамилия
« 02 » 06 2020 г.

**Лист актуализации рабочей программы
учебной дисциплины «Приборы силовой электроники»**

Рабочая программа актуализирована на 20__/20__ учебный год.
Протокол № ____ заседания кафедры от « ____ » _____ 20__ г.
Разработчик: _____
Зав. кафедрой _____

[illegible]