

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

(подпись)

(дата утверждения)

О.И. Чуприс

Регистрационный № УД- 6506/уч.

СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине по специальности:**

1-31 04 03 Физическая электроника

2018 г.

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**УТВЕРЖДАЮ**Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям_____
(подпись) О.И.Чуприс_____
(дата утверждения)

Регистрационный № УД-_____/уч.

Силовая электроника**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине по специальности:****1-31 04 03 Физическая электроника**

2018 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 03-2013 и учебных планов УВО № G31-165/уч., G31u-188/уч. 2013 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.Н. Петлицкий, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

И.И. АБРАМОВ, профессор кафедры микро- и наноэлектроники УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», доктор физико-математических наук, профессор;

В.А. ПИЛИПЕНКО, заместитель директора по научному развитию ГЦ «Белмикроанализ» ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 22.05 2018 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 16.06 2018 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Силовая электроника» разработана для студентов первой ступени высшего образования специальности 1-31 04 03 «Физическая электроника».

Место. Дисциплина входит в цикл дисциплин специальной подготовки и относится к государственному компоненту.

Взаимосвязь. Для успешного освоения дисциплины «Силовая электроника» необходимы знания по общей физике и физике полупроводников и полупроводниковых приборов в объеме учебных программ названных дисциплин.

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов систематизированных знаний и практических навыков в области современной силовой электроники и преобразователей электрической энергии.

Задачи дисциплины:

- научить студентов анализировать физические явления и процессы, протекающие в силовых полупроводниковых приборах,
- научить применять современные экспериментальные методы для исследования и обработки параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов,
- ознакомить с основами применения силовой электроники и преобразовательной техники.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- физические принципы действия современных силовых приборов и компонентов силовой электроники, а также используемые для их описания параметры и характеристики;

уметь:

- выбрать необходимые приборы силовой электроники для разработки конкретного устройства силовой электроники;

владеть:

- методами оценки параметров и расчёта характеристик современных приборов силовой электроники.

Освоение программы по учебной дисциплине «Силовая электроника» должно обеспечить формирование следующих **компетенций:**

Академические:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств,

управлением информацией и работой с компьютером.

Профессиональные:

ПК-4. Проводить математическое моделирование физических процессов, приборов и устройств;

ПК-15. Рассчитывать и анализировать режимы работы приборов, интегральных схем и электронных устройств и намечать пути улучшения их характеристик

Объем дисциплины составляет 130 учебных часов, из них – 62 аудиторных. Распределение аудиторных часов по видам занятий: лекций - 34 часов, лабораторных работ – 28 часов.

Дисциплина «Силовая электроника» изучается студентами дневной формы получения высшего образования на 4-ом курсе в 7-ом семестре.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена по лекционному курсу.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Цель и задачи дисциплины. Проблемы преобразования электрической энергии. Классификация элементной базы силовой электроники.

Тема 2. Основные физические принципы, конструкции и технологии современной силовой электроники. Идеальные и типичные характеристики переключающих устройств силовой электроники. Идеальные и типичные характеристики элементной базы силовой электроники.

Тема 3. Материалы силовой электроники. Краткий обзор используемых материалов. Сравнительный анализ свойств кремния и карбида кремния как материалов силовой электроники.

Тема 4. Дискретные компоненты силовой электроники. Мощные диоды с р-п переходом. Мощные диоды Шоттки. Структуры силовых выпрямительных диодов Шоттки. Вольтамперные и вольт-фарадные характеристики, методы управления высотой барьера, током утечки, напряжением пробоя, особенности технологии изготовления. Опорные диоды. Мощные переключающие полевые транзисторы (MOSFET). Мощные силовые и высоковольтные биполярные транзисторы. Транзисторы со статической индукцией. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Многослойные интегральные силовые приборы. Тиристоры, динисторы, симисторы. Их структура и электрические характеристики.

Тема 5. Интегральные схемы управления приборами силовой электроники. Интегральные силовые модули. Микросхемы для источников питания. Структура источников питания, электрические характеристики. Микросхемы стабилизаторов напряжения. Схемотехническая реализация источников опорного напряжения, схемы защиты от повышенного входного напряжения, превышения температуры кристалла, короткого замыкания, методы настройки параметров микросхем. Микросхемы управления импульсными источниками питания. Структурная схема и принцип работы, ШИМ-контроллер, коррекция коэффициента мощности. Микросхемы управления электродвигателями. Микросхемы управления осветительным оборудованием. Силовые микросхемы для автомобильной электроники. Драйверы управления MOSFET и IGBT.

Тема 6. Особенности корпусирования силовых полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Материальное обеспечение занятия (методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Введение (2 ч)	2	-	-	-			
1.1.	Цель и задачи дисциплины. Проблемы преобразования электрической энергии. Классификация элементной базы силовой электроники.	2				Электронный конспект лекций	[1 - 4]	
2.	Основные физические принципы, конструкции и технологии современной силовой электроники (2 ч)	2	-	-	-			
2.1.	Идеальные и типичные характеристики переключающих устройств силовой электроники. Идеальные и типичные характеристики элементной базы силовой электроники.	2				Электронный конспект лекций	[1 - 4] [1 - 6]	Устный опрос

3.	Материалы силовой электроники (2 ч)	2	-	-	-			
3.1	Краткий обзор используемых материалов. Сравнительный анализ свойств кремния и карбида кремния как материалов силовой электроники.					Электронный конспект лекций	[1 - 6]	Устный опрос
4.	Дискретные компоненты силовой электроники (28 ч)	12	-	16	-			
4.1.	Мощные диоды с p-n переходом.	2		4		Электронный конспект лекций. Метод. указания к лаб. работам	[1, 3]	Устный опрос. Защита отчёта по лаб. работе
4.2.	Мощные диоды Шоттки. Структуры силовых выпрямительных диодов Шоттки. Вольтамперные и вольт-фарадные характеристики, методы управления высотой барьера, током утечки, напряжением пробоя, особенности технологии изготовления. Опорные диоды.	2		6		Электронный конспект лекций. Метод. указания к лаб. работам	[1, 3]	Письменный опрос. Защита отчёта по лаб. работе
4.3.	Мощные переключающие полевые транзисторы (MOSFET).	2		6		Электронный конспект лекций. Метод. указания к лаб. работам	[1 - 3]	Защита отчёта по лаб. работе
4.4.	Мощные силовые и высоковольтные биполярные транзисторы. Транзисторы со	2				Электронный конспект лекций	[1, 2]	Устный опрос

	статической индукцией. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT).							
4.5.	Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT).	2				Электронный конспект лекций	[1, 2]	Устный опрос
4.5.	Многослойные интегральные силовые приборы. Тиристоры, динисторы, симисторы. Их структура и электрические характеристики.	2				Электронный конспект лекций	[1 - 4]	Устный опрос
5.	Интегральные схемы управления приборами силовой электроники. Интегральные силовые модули (26 ч)	14	-	12	-			
5.1.	Микросхемы для источников питания. Структура источников питания, электрические характеристики.	2		6		Электронный конспект лекций. Метод. указания к лаб. работам.	[1, 2]	Защита отчёта по лаб. работе
5.2.	Микросхемы стабилизаторов напряжения. Схемотехническая реализация источников опорного напряжения, схемы защиты от повышенного входного напряжения, превышения температуры кристалла, короткого замыкания, методы настройки параметров микросхем.	2		6		Электронный конспект лекций. Метод. указания к лаб. работам.	[1]	Защита отчёта по лаб. работе
5.3.	Микросхемы управления импульсными источниками питания. Структурная схема и принцип работы, ШИМ-контроллер, коррекция коэффициента мощности.	2				Электронный конспект лекций	[1]	Устный опрос

5.4.	Микросхемы управления электродвигателями.	2				Электронный конспект лекций	[1]	
5.5.	Микросхемы управления осветительным оборудованием	2				Электронный конспект лекций	[1]	Устный опрос
5.6.	Силовые микросхемы для автомобильной электроники	2				Электронный конспект лекций	[1]	
5.7.	Драйверы управления MOSFET и IGBT	2				Электронный конспект лекций	[1]	Письменный опрос
5.	Особенности корпусирования силовых полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (2 ч)	2	-	-	-		[1, 2]	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Белоус, А. И. Полупроводниковая силовая электроника / А. И. Белоус, С. А. Ефименко, А. С. Турцевич. М.: Техносфера, 2013. 216 с.
2. Розанов, Ю. К. Силовая электроника: учебник для вузов/ Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Краснюк. М.: МЭИ, 2009. 632 с.
3. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов / М.: Мир, 1984.
4. B. Jayant Baliga. Fundamentals of Power Semiconductor Devices / Springer, 2007, с. 1069.

Дополнительная литература

5. Khanna, V. K. Insulating gate bipolar transistor. Theory and design/Wiley-Interscience. 2003.
6. Семенов, Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / М.: СОЛОН-ПРЕСС. 2009.

Перечень лабораторных занятий

1. Изучение структуры и основных вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик силовых полупроводниковых диодов с р-п переходом.
2. Изучение структуры и основных вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик силовых полупроводниковых диодов Шоттки.
3. Изучение структуры и основных вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик силовых полевых транзисторов.
4. Изучение структуры и основных электрических характеристик микросхем для источников питания.
5. Изучение структуры и основных электрических характеристик микросхем стабилизаторов напряжения.

Выполнение лабораторных работ

Задание по лабораторным работам для студентов заключается в подготовке отчета в письменном виде по выполненной работе. Контроль выполнения лабораторных работ осуществляется путем рассмотрения отчета по каждой выполненной лабораторной работе. Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию, имя, отчество студента.
2. Название работы.
3. Цель исследования.
4. Исходные данные и методику проведения лабораторной работы.
5. Полученные результаты работы в виде оценок рассчитанных величин и их зависимостей от различных параметров.
5. Обсуждение полученных результатов и выводы по работе.

Перечень используемых средств диагностики

К используемым средствам диагностики относятся:

1. Индивидуальные задания на лабораторных занятиях.
2. Письменный отчёт по каждой лабораторной работе, проверка и анализ полученных значений параметров и характеристик изучаемых приборов.
3. Зачёт по лабораторному практикуму с выставлением оценки текущего контроля.
4. Тестовые задания по отдельным разделам дисциплины как форма допуска к лабораторным занятиям.
5. Письменные самостоятельные работы по лекционному курсу.
6. Экзамен по лекционному курсу на основе устного опроса или письменных ответов.

Формирование итоговой оценки

Итоговая оценка по дисциплине формируется в соответствии с:

- 1) Правилами проведения аттестации (пост. МО № 53 от 29 мая 2012 г.).
- 2) Положением о рейтинговой системе в БГУ (ред. 2015 г.),
- 3) Критериями оценки студентов (10 баллов).

Перечень экзаменационных вопросов

1. Проблемы преобразования электрической энергии.
2. Структура основных типов MOSFET транзисторов.
3. Классификация элементной базы силовой электроники.
4. Базовые характеристики MOSFET транзисторов.
5. Классификация силовых приборов по применению.
6. Основные этапы изготовления MOSFET транзисторов.
7. Идеальные и типичные характеристики переключателей мощности.
8. Материалы силовой электроники. Собственная концентрация носителей заряда в кремнии и карбиде кремния.
9. Идеальные и типичные характеристики полупроводниковых силовых приборов.
10. Материалы силовой электроники. Подвижность носителей заряда в кремнии и карбиде кремния.
11. Биполярные и МОП-биполярные силовые полупроводниковые приборы.
12. Материалы силовой электроники. Ширина обедненной области и напряжение пробоя для кремния и карбида кремния.
13. Униполярные силовые приборы.
14. Проблема отвода тепла. Тепловое сопротивление. Способы уменьшения теплового сопротивления.
15. Идеальная область дрейфа для униполярных силовых приборов.

16. Основные типы корпусов для полупроводниковых приборов и микросхем силовой электроники.
17. Область дрейфа для структур с зарядовой связью.
18. Измерение тепловых сопротивлений силовых полупроводниковых приборов.
19. Структура силового диода Шоттки.
20. Виды источников света и их основные характеристики.
21. Контакт Шоттки.
22. Схемы управления газоразрядными, люминесцентными лампами.
23. Диод Шоттки в условиях прямого смещения.
24. Светодиодные источники света.
25. Диод Шоттки в условиях обратного смещения.
26. Способы создания светоизлучающих диодов белого света.
27. Уменьшение барьера Шоттки за счет сил электростатического изображения.
28. Схемы управления MOSFET и IGBT.
29. Емкость диода Шоттки.
30. Тепловое сопротивление. Способы уменьшения теплового сопротивления.
31. Рассеяние энергии на диодах Шоттки.
32. Анализ компромиссов между током утечки и прямым падением напряжения для диодов Шоттки.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹
Материалы электронной техники	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	нет	Изменений не требуется Прот. № 11 от 22.05.2018 г.

¹ При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
физической электроники и нанотехнологий
(протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О.Фамилия)