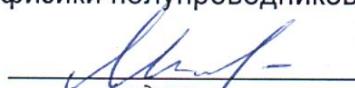


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующая кафедрой  
физики полупроводников и микроэлектроники

  
подпись

(Меньшикова Т.Г.)  
расшифровка подписи

05.06.2025

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.01 Проектирование систем ввода-вывода интегральных схем

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:  
03.04.03 Радиофизика

2. Профиль подготовки: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы

3. Квалификация (степень) выпускника: магистр

4. Форма образования: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики полупроводников и микроэлектроники

6. Составители программы: Богатиков Евгений Васильевич,  
кандидат физико-математических наук, доцент

7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 04.06.2025

8. Учебный год: 2026-2027 Семестр: 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины: целью освоения учебной дисциплины является формирование знаний в области проектирования периферии быстродействующих интегральных схем с учетом защиты от электростатического разряда.

Задачи учебной дисциплины:

- дать обзор конструктивных решений для входных и выходных буферов цифровых интегральных схем;
- познакомить с основными стандартами обмена данными;
- рассмотреть механизмы и последствия влияния электростатического разряда на интегральные схемы;

- рассмотреть физические основы работы полупроводниковых приборов, используемых для защиты от электростатического разряда;
- рассмотреть базовые стратегии защиты интегральных схем от электростатического разряда;
- провести проектирование элементов защиты интегральных схем от электростатического разряда.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (вариативная) блока Б1. Для ее освоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП в рамках курса схемотехники интегральных схем.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудового действия ТД.1 «Разработка структурных схем и схем принципиальных МИС СВЧ, оптимизация их параметров с учетом существующих технологических маршрутов производства и технологических ограничений» трудовой функции В/01.7 «Конструирование наногетероструктурных СВЧ-монолитных интегральных схем в соответствии с техническим заданием для выбираемой технологии» профессионального стандарта 40.003 «Инженер-конструктор в области производства наногетероструктурных СВЧ-монолитных интегральных схем»

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-2	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях полупроводниковой элементной базы радиоэлектронных устройств	ПК-2.3	Разрабатывает принципиальные схемы и проводит схемотехническое моделирование полупроводниковых СВЧ-устройств	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- классификацию компонентов систем ввода/вывода интегральных схем;</li> <li>- стандарты передачи данных.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать и реализовывать конструкторское решение, обеспечивающее передачу данных в соответствии с требованиями технического задания.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками проектирования входных и выходных буферов ячеек ввода-вывода интегральных схем с использованием САПР.</li> </ul>
		ПК-2.4	Учитывает условия эксплуатации при проектировании элементной базы радиоэлектроники	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механизмы и модели воздействия электростатического разряда (ЭСР) на интегральные схемы;</li> <li>- стандарты испытания устойчивости интегральных схем к ЭСР;</li> <li>- основные способы защиты ин-</li> </ul>

				тегральных схем от ЭСР. <b>Уметь:</b> - выбирать и реализовывать конструкторское решение, обеспечивающее ЭСР-защиту интегральной схемы. <b>Владеть:</b> - навыками проектирования узлов интегральных схем, обеспечивающих ЭСР-защиту, с использованием САПР.
--	--	--	--	--

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

## 13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)		
	Всего	По семестрам	
		3 сем.	
Аудиторные занятия,	24	24	
в том числе:			
лекции	12	12	
лабораторные работы	12	12	
Самостоятельная работа	48	48	
Итого:	72	72	

### 13.1. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>Лекции</b>		
1.1	Ячейки ввода-вывода интегральных схем	Поведенческие IBIS-модели систем ввода-вывода ИС. Классификация ячеек ввода-вывода. Входные буферы ячеек ввода-вывода. Входной буфер на основе КМОП-инвертора. Входные буферы с подтягивающими резисторами и запоминанием последнего значения сигнала. Входной буфер с дифференциальным усилителем. Входной буфер с триггером Шмитта. Двухтактные и однотактные выходные буферы.
1.2	Стандарты передачи данных	Несимметричная и дифференциальная передача данных. Понятие оконечной нагрузки. Интерфейсы LVTTL, LVCMS, SSTL, HSTL. Пример реализации стандарта LVDS.
1.3	Модели и механизмы воздействия электро- статического разряда на интегральные схемы	Модели процесса электростатического разряда (НВМ, ММ, СДМ): эквивалентные электрические схемы и условия применения. Классификация повреждений ИС при воздействии ЭСР. Механизмы повреждений при ЭСР: пробой диэлектрика, внедрение заряда в окисел, шнурование тока, замыкание контактов, плавление пленок металла.
1.4	Стандарты по методам испытания устойчивости интегральных схем к электростатическим	Понятие стандарта по ЭСР устойчивости отдельных элементов и стандарта на уровне конечной системы. Стандарты комитета JEDEC. Стандарт IEC 61000-4-2. Сравнение ЭСР воздействий для различных стандартов. Внешняя и

	разрядам	встроенная ЭСР-защита.
1.5	Элементы встроенной защиты интегральных схем от электростатического разряда	Пути протекания тока при различных режимах ЭСР-событий. Окно проектирования ЭСР-защиты. Элементы ЭСР-защиты с монотонной ВАХ: диодные структуры и цепочки диодов. Понятие блокировки силицида. Использование snapback-эффекта для ЭСР-защиты. Особенности параллельного включения сегментов ggNMOS-транзисторов. Четырехслойные тиристорные структуры (SCR).
1.6	Стратегия организации ЭСР-защиты интегральных схем	Первичная и вторичная ЭСР-защита. ЭСР защита в системах с несколькими доменами питания. Динамические клампы. Проектирование RC-клампа в технологии SKY130.
<b>Лабораторные работы</b>		
2.1	Ячейки ввода-вывода интегральных схем	Л.р. № 1. Схемотехническое моделирование входного буфера с триггером Шмитта. Л.р. № 2. Схемотехническое моделирование входного буфера с дифференциальным усилителем.
2.2	Стандарты передачи данных	
2.3	Модели и механизмы воздействия электростатического разряда на интегральные схемы	
2.4	Стандарты по методам испытания устойчивости интегральных схем к электростатическим разрядам	
2.5	Элементы встроенной защиты интегральных схем от электростатического разряда	Л.р. № 3. Проектирование ggNMOS-транзистора для ЭСР-защиты.
2.6	Стратегия организации ЭСР-защиты интегральных схем	Л.р. № 4. Расчет параметров RC-клампа. Л.р. № 5. Схемотехническое моделирование RC-клампа. Л.р. № 6. Топологическое проектирование RC-клампа.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабора- торные	Самосто- тельная работа	Всего
1	Ячейки ввода-вывода интегральных схем	2	4	6	12
2	Стандарты передачи данных	2	-	6	8
3	Модели и механизмы воздействия электростатического разряда на интегральные схемы	2	-	6	8
4	Стандарты по методам испытания устойчивости интегральных схем к электростатическим разрядам	2	-	6	8
5	Элементы встроенной защиты интегральных схем от электростатического разряда	2	2	12	16
6	Стратегия организации ЭСР-защиты интегральных схем	2	6	12	20
	Итого:	12	12	48	72

	Итого по курсу					72
--	----------------	--	--	--	--	----

#### **14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:**

Изучение дисциплины «Проектирование систем ввода-вывода интегральных схем» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. Обязательное посещение лабораторных занятий и текущих аттестаций.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубить понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнится, когда требуется.

Следует помнить, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
  - понимать значение и важность ее в данном курсе;
  - четко представлять план;
  - уметь выделить основное, главное;
  - усвоить значение примеров и иллюстраций;
  - связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
  - представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.
- Существует несколько общих правил работы на лекции:
- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
  - к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
  - лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
  - так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью. Самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности. Она обеспечивает формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развиваются творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении курса «Проектирование систем ввода-вывода интегральных схем» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку к лабораторным работам, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Проектирование систем ввода-вывода интегральных схем» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 12 часов;
подготовка к лабораторным занятиям	- 12 часов;
подготовка к зачету	- 24 часа;
Итого - 48 часов.	

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника : [учебное пособие] / Е.П. Угрюмов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 797 с.
2	Петров М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : [учебное пособие] / М.Н. Петров, Г.В. Гудков. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2017. – 462 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : Учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. – 6-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2002. – 478 с.
4	Степаненко И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие для вузов / И.П.Степаненко. – 2-е изд. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 488 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
5	IBIS Specifications <URL: <a href="https://ibis.org/specs/">https://ibis.org/specs/</a> >
6	Global Standards for the Microelectronics Industry <URL: <a href="https://www.jedec.org/">https://www.jedec.org/</a> >

**16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:**

№ п/п	Источник
1	Защита интегральных микросхем от электростатического разряда: учебно-методическое пособие / сост.: А. В. Тучин, А. Н. Шебанов, Е. Н. Бормонтов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. – 56 с.
2	Языки проектирования схем смешанного сигнала : учебно-методическое пособие / [Е.В. Богатиков, А.Н. Шебанов, А.В. Злобин, С.В. Тарасов] ; Воронежский государственный университет. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2022. – 36 с.
3	Шебанов А. Н. Основы схемотехнического моделирования в NGSPICE : учебно-методическое пособие / А. Н. Шебанов, Е. В. Богатиков. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021.

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:**

№ п/п	Источник
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"
3	Федеральный портал «Российское образование» <a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лекционные занятия проводятся в мультимедийном кабинете кафедры ФППиМЭ, оснащённым стационарным мультимедийным проектором AcerX125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт., экран, с лицензионным программным обеспечением Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Для проведения лабораторных работ необходим компьютерный класс с лицензионным программным обеспечением - лаборатория вычислительных систем и математического моделирования, оснащенная сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ и с лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; программный комплекс для ЭВМ – MathWorks Total Academic Headcoun, Университетская лицензия, договор 3010-07/01-19 от 09.01.19; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Аудитория для самостоятельной работы студентов оснащена сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ и лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Ячейки ввода-вывода интегральных схем	ПК-2	ПК-2.3	Отчеты о выполнении лабораторных работ №1,2
2	Стандарты передачи данных	ПК-2	ПК-2.3	Вопросы к зачету
3	Модели и механизмы воздействия электростатического разряда на интегральные схемы	ПК-2	ПК-2.4	Вопросы к зачету
4	Стандарты по методам испытания устойчивости интегральных схем к электростатическим разрядам	ПК-2	ПК-2.4	Вопросы к зачету
5	Элементы встроенной защиты интегральных схем от электростатического разряда	ПК-2	ПК-2.4	Отчеты о выполнении лабораторных работ №3
6	Стратегия организации ЭСР-защиты интегральных схем	ПК-2	ПК-2.4	Отчеты о выполнении лабораторных работ №4,5,6
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				Вопросы к зачету

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью оценки отчетов о выполнении лабораторных работ.

#### Перечень лабораторных работ

Работа № 1. Схемотехническое моделирование входного буфера с триггером Шмитта.

Работа № 2. Схемотехническое моделирование входного буфера с дифференциальным усилителем.

Работа № 3. Проектирование ggNMOS-транзистора для ЭСР-защиты.

Работа № 4. Расчет параметров RC-клампа.

Работа № 5. Схемотехническое моделирование RC-клампа.

Работа № 6. Топологическое проектирование RC-клампа.

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

#### Перечень вопросов к зачету

1. Поведенческие IBIS-модели систем ввода-вывода ИС.
2. Классификация ячеек ввода-вывода.
3. Входной буфер на основе КМОП-инвертора.
4. Входные буфера с подтягивающими резисторами
5. Входные буфера с запоминанием последнего значения сигнала.
6. Входной буфер с дифференциальным усилителем.
7. Входной буфер с триггером Шмитта.
8. Двухтактные выходные буфера.
9. Однотактные выходные буфера.
10. Интерфейсы с несимметричной передачей данных.
11. Интерфейсы с дифференциальной передачей данных.
12. Модели процесса электростатического разряда (HBM, MM, CDM).
13. Механизмы повреждений при ЭСР.
14. Виды стандартов по ЭСР устойчивости.
15. Сравнение ЭСР воздействий для различных стандартов.
16. Пути протекания тока при различных режимах ЭСР-событий.
17. Элементы ЭСР-защиты с монотонной ВАХ: диодные структуры.
18. Элементы ЭСР-защиты с монотонной ВАХ: цепочки диодов.
19. Технологические особенности формирования элементов ЭСР-защиты.
20. Использование snapback-эффекта для ЭСР-защиты.
21. Особенности параллельного включения сегментов ggNMOS-транзисторов.
22. Четырехслойные тиристорные структуры, используемые для ЭСР-защиты.
23. ЭСР защита в системах с несколькими доменами питания.
24. Динамические клампы.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических работ.

Каждому обучающемуся задаются вопросы по всем разделам спецкурса.

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«не зачтено».

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «зачтено» выставляется при полном соответствии работы обучающихся всем вышеуказанным показателям: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;
- оценка «не зачтено» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.