

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



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

физики полупроводников и микроэлектроники  
факультет

*Е.Н. Бормонтов* (Е.Н. Бормонтов)

31.08.2024

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.02.02 Введение в языки проектирования аппаратуры

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: **11.03.04**  
Электроника и наноэлектроника

2. Профиль подготовки: Интегральная электроника и наноэлектроника

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма образования: очная

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

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

7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024

8. Учебный год: **2023-2024** Семестр: **2**

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения дисциплины «Введение в языки проектирования аппаратуры» является формирование специальных знаний и умений, необходимых для разработки HDL-описаний цифровых и цифроаналоговых ИС с использованием САПР.

В задачи дисциплины входят:

- изучение языка описания цифровых устройств VHDL;
- изучение языка описания аналоговых и цифро-аналоговых систем VHDL-AMS;
- изучение САПР Quartus.

Знания, полученные при освоении дисциплины «Введение в языки проектирования аппаратуры», являются полезными при изучении дисциплин «Основы проектирования электронной компонентной базы», «Элементная база цифровых 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-1	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ПК-1.2	Определяет численные значения основных технических характеристик цифровых и аналоговых СФ-блоков	Умение: - разрабатывать модели аналоговых систем на языке VHDL-AMS
		ПК-1.3	Создает схемотехнические и символьные представления СФ-блоков в системах автоматизированного проектирования, а также списки соединений на основе графических представлений электрических схем	Умение: - программировать на языке VHDL - программировать на языке VHDL-AMS
ПК-2	Способен выполнять моделирование схем отдельных аналоговых блоков и принимать решения об уточнении первичного схемотехнического описания на основе результатов анализа и верификации результатов моделирования	ПК-2.1	Применяет средства САПР для реализации основных методов схемотехнического моделирования	Владение: - навыками программирования и отладки на языке VHDL в САПР Quartus

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 4 / 144.**

Форма промежуточной аттестации – зачет

**13. Виды учебной работы:**

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)	
		Всего	По семестрам
Аудиторные занятия,		66	66
в том числе:	лекции	34	34
	лабораторные	16	16
	практические	16	16
Самостоятельная работа		78	78
Форма промежуточной аттестации: зачет			
Итого:		144	144

### 13.1. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Введение	Назначение языков проектирования аппаратуры (HDL). Обзор основных HDL, HDL-компиляторы.
1.2	Основы языка VHDL	Параллельное и последовательное выполнение операторов. Понятие процесса в VHDL. Присваивание с задержкой. Структура VHDL-модели: интерфейс и архитектура. Поведенческое и структурное описание модели в VHDL. Типы данных в VHDL. Атрибуты VHDL-сигналов. Операторы ветвления и циклов в VHDL. Оператор generate. Процедуры и функции. Драйверы сигнала, реализация монтажного ИЛИ. Функциональная верификация VHDL-описания.
1.3	Особенности языка VHDL-AMS	Данные типа quantity. Простые quantity, across quantity, through quantity. Задание узлов terminal. Запись уравнений при помощи выражений simultaneous statement и simultaneous if statement. Задание начальных условий, оператор break. Связь между цифровой и аналоговой частью модели.
1.4	RTL-описание цифровых ИС	Основы работы в САПР Quartus: создание проекта, разработка HDL-описания, синтез шаблона тестбенча, моделирование в ModelSim. Понятие синтезруемости HDL-описания. Синтезируемое подмножество языка VHDL. Типовые поведенческие синтезируемые формы. RTL-синтез цифровой ИС по HDL-описанию.
<b>2. Лабораторные работы</b>		
2.1	Введение	
2.2	Основы языка VHDL	
2.3	Особенности языка VHDL-AMS	
2.4	RTL-описание цифровых ИС	Лабораторная работа № 1. Проектирование и функциональная верификация мультиплексора. Лабораторная работа № 2. Проектирование и функциональная верификация демultipлексора. Лабораторная работа № 3. Проектирование и функциональная верификация блока памяти. Лабораторная работа № 4. Проектирование и функциональная

		верификация цифровой линии задержки.
<b>3. Практические занятия</b>		
3.1	Введение	
3.2	Основы языка VHDL	Занятие 1. Поведенческое описание генератора импульсов. Занятие 2. Структурное описание кольцевого генератора импульсов. Занятие 3. Поведенческое описание D-триггера. Занятие 4. Структурное описание четырехразрядного сумматора.
3.3	Особенности языка VHDL-AMS	Занятие 5. VHDL-AMS модель полупроводникового диода. Занятие 6. VHDL-AMS модель диодного моста.
3.4	RTL-описание цифровых ИС	

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение	2	-	-	12	14
2	Основы языка VHDL	14	8	-	22	44
3	Особенности языка VHDL-AMS	12	8	-	22	42
4	RTL-описание цифровых ИС	6	-	16	22	44
	Итого:	34	16	16	78	144

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

Изучение дисциплины «Введение в языки проектирования аппаратуры» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

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 углубить понимание как нового, так и уже изученного материала благодаря установлению взаимосвязей между отдельными частями курса.

Хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему лекции;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план лекции;
- 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.

Важной составляющей курса являются лабораторные работы, которые позволяют приобрести навыки проектирования цифровых и цифро-аналоговых устройств с применением HDL. Выполнение лабораторной работы требует тщательной предварительной подготовки. Необходимо заранее ознакомиться с теоретическим введением к предстоящей лабораторной работе для того, чтобы выполнение работы в аудитории было полностью осмысленным. Также необходимо помнить, что составление отчета о выполнении лабораторной работы является не только ключевым этапом в систематизации и осознании полученных данных, но и необходимым умением в будущей профессиональной деятельности, предполагающей регулярное составление подобных отчетов.

Наряду с теоретическим курсом и лабораторными работами важной составляющей обучения является самостоятельная работа. Она предназначена как для формирования навыков самостоятельной работы вообще, так и для развития способностей принимать на себя ответственность, находить конструктивные решения и выход из кризисной ситуации.

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

Таким образом, самостоятельная работа формирует черты характера, играющие существенную роль в структуре личности современного специалиста.

Преподаватель организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для профессиональной деятельности в избранной сфере.

Получение образования предполагает не только обучение решению задач определенной сферы деятельности, но и формирование особого профессионального стиля мышления. Профессиональный стиль мышления означает готовность к поиску решения любой задачи в ходе практической деятельности, даже такой, которая не была затронута в ходе обучения.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося 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 обучающихся при изучении курса «Введение в языки проектирования аппаратуры» включает в себя: работу с теоретической частью курса, оформление отчетов о выполнении лабораторных работ и подготовку к выполнению лабораторных работ.

Рекомендуемое распределение нагрузки между компонентами самостоятельной работы:

- |                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| изучение теоретической части курса | - 46 часов |
| подготовка к лабораторным занятиям | - 32 часа  |

итого - 78 часов

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Дуркин, В. В. Схемотехника аналоговых электронных устройств : учебно-методическое пособие : [16+] / В. В. Дуркин, С. В. Тырыкин, Р. Ю. Белоруцкий ; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 88 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=575380">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=575380</a> – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3937-1. – Текст : электронный. Проектирование цифровых устройств с помощью языка описания аппаратуры VHDL : учебное пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; сост.: А.М. Бобрешов, А.В. Дыбой. — Воронеж : ЛОП ВГУ, 2007. — 51 с. : ил. — Библиогр.: с.51. — <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/may07096.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/may07096.pdf</a> >.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2	Акчурин А.Д., Юсупов К.М. Программирование на языке Verilog. Учебное пособие. – Казань, 2016 – 90 с.- <a href="https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1644426754">https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1644426754</a>
3	Поляков А. К. Языки VHDL и VERILOG в проектировании цифровой аппаратуры / А. К. Поляков. — М. : Солон-пресс, 2003. — 313 с.
4	Тарасов И. Е. Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL / И.Е. Тарасов. — М. : Горячая линия-Телеком, 2005. — 252 с.
5	Зотов В. Ю. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX / В.Ю. Зотов. — М. : Горячая линия-Телеком, 2006. — 519 с.
6	Бибило, П. Н. Основы языка VHDL / П.Н. Бибило. — М. : Солон-Р, 2000. — 200 с.
7	Суворова, Елена. Проектирование цифровых систем на VHDL / Е.А. Суворова, Ю. Шейнин. — СПб : БХВ-Санкт-Петербург, 2003. — 560 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
8	Intel® FPGA Development Tools Support <URL: <a href="https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/products/design-software/fpga-design/quartus-prime/support.html">https://www.intel.com/content/www/us/en/programmable/products/design-software/fpga-design/quartus-prime/support.html</a> >
9	МАРСОХОД Open Source Hardware Project <URL: <a href="https://marsohod.org">https://marsohod.org</a> >

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

№ п/п	Источник
1	Язык Verilog и проектирование цифровых устройств на ПЛИС : учебно-методическое пособие / Е.В. Богатиков, А.Н. Шибанов. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. — 60 с.
	Богатиков, Евгений Васильевич. Основы проектирования устройств твердотельной электроники : учебно-методическое пособие / Е. В. Богатиков, А. Н. Шибанов, Е.Н. Бормонтов. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2020. — 56 с.

### 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины:

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные занятия; практические занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - мультимедийный кабинет кафедры ФППиМЭ: стационарный мультимедийный проектор Acer X125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт.; Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019

Учебная лаборатория микропроцессорных систем: отладочные комплекты ПЛИС Altera MAX II - 8 шт., компьютеры Lenovo V520-15IKL - 8 шт., цифровые осциллографы UTD2025CL - 3 шт., функциональные генераторы UTG2025A - 3 шт., телевизор LED 48” – 1 шт.; Microsoft Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019  
свободно распространяемое ПО Quartus Prime 18.1 Lite Edition

Аудитория для самостоятельной работы студентов: Сервер 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 и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ; Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019

### 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	Введение	ПК-1	ПК-1.1, ПК-1.2	Тесты, вопросы
2	Основы языка VHDL	ПК-1	ПК-1.1, ПК-1.2	Тесты, вопросы
3	Особенности языка VHDL-AMS	ПК-1	ПК-1.1, ПК-1.2	Тесты, вопросы
4	RTL-описание цифровых ИС	ПК-2	ПК-2.1	Тесты, вопросы, лабораторные работы
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				Комплект КИМ

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

### **20.1 Текущий контроль успеваемости**

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: отчеты о выполнении лабораторных работ, ответы на вопросы

#### **Примерный перечень вопросов для текущего контроля успеваемости**

1. Что такое модельное и машинное время, в чем их отличие?
2. Что такое календарь событий и для чего он используется?
3. В чем заключается отличие параллельных операторов от последовательных?
4. К какой категории операторов относится оператор процесса?
5. Каков механизм моделирования одновременной работы элементов, составляющих цифровое устройство?
6. Какими могут быть направленности портов в VHDL и в чем заключаются их отличия?
7. Какие правила следует применять при назначении типов портов и сигналов, подключаемых к портам?
8. Как реализуется двунаправленный порт в VHDL?
9. Что такое z-состояние?
10. Что такое тестбенч?
11. Каким образом в тестбенче можно задать продолжительность моделирования?
12. В чем заключаются отличия flip-flop триггеров от триггеров-защелок?
13. Какие операторы языка VHDL являются синтезابلными, а какие – нет?
14. Как определить необходимое количество уравнений, необходимое для описания аналоговой системы в VHDL-AMS?
15. Для чего используется вид данных terminal в VHDL-AMS?
16. Какими бывают данные вида quantity?
17. Какие уравнения, описывающие аналоговую систему, автоматически составляются системой моделирования VHDL-AMS?

#### **Перечень лабораторных работ**

Лабораторная работа № 1. Проектирование и функциональная верификация мультиплексора.

Лабораторная работа № 2. Проектирование и функциональная верификация демультимплексора.

Лабораторная работа № 3. Проектирование и функциональная верификация блока памяти.

Лабораторная работа № 4. Проектирование и функциональная верификация цифровой линии задержки.



### Критерии оценивания текущей успеваемости

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов, решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

#### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

##### Комплект вопросов

1. Понятие процесса в VHDL.
2. Структура проекта VHDL. Подключение пакетов.
3. Операторы присваивания. Присваивание с задержкой.
4. Оператор generate в VHDL.
5. Раздел описания интерфейса в VHDL. Операторы port и generic..
6. Функциональная верификация VHDL-описания.
7. Раздел описания архитектуры в VHDL.
8. Запись уравнений в VHDL-AMS при помощи выражений simultaneous statement и simultaneous if statement.
9. Поведенческое описание VHDL-модели.
10. Задание в VHDL-AMS начальных условий, оператор break.
11. Структурное описание VHDL-модели.
12. Связь между цифровой и аналоговой частью модели в VHDL-AMS.
13. Встроенные типы данных VHDL.
14. Данный типа quantity в VHDL-AMS. Понятие узла.
15. Пользовательские типы данных в VHDL.
16. Тип данных std\_logic в VHDL. Разрешающая функция.
17. Атрибуты VHDL-сигналов.
18. Арифметические и логические операции в VHDL.
19. Операторы ветвления и выбора в VHDL.
20. Операторы циклов в VHDL.
21. Понятие синтезруемости HDL-описания.

### Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет. В приложение к диплому вносится оценка *зачтено/не зачтено*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Введение в языки проектирования аппаратуры» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Введение в языки проектирования аппаратуры»:

– оценка *«зачтено»* выставляется при уровне освоенности компетенций *«отлично»*, *«хорошо»* или *«удовлетворительно»*

– оценка *«не зачтено»* выставляется при уровне освоенности компетенций *«неудовлетворительно»*

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

### Описание шкалы, показателей и критериев оценивания компетенций (результатов обучения)

Компетенция	Показатель сформированности компетенции	Шкала и критерии оценивания уровня освоения компетенции			
		<i>отлично</i>	<i>хорошо</i>	<i>удовлетворительно</i>	<i>неудовлетворительно</i>
ПК-1 Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	Умение: - разрабатывать модели аналоговых систем на языке VHDL-AMS - программировать на языке VHDL - программировать на языке VHDL-AMS	Сформированное умение	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение	Успешное, но не системное умение	Фрагментарные умения или отсутствие умений
ПК-2 Способен выполнять моделирование схем отдельных аналоговых блоков и принимать решения об уточнении первичного схемотехнического описания на основе результатов анализа и верификации результатов моделирования	Владение: - навыками программирования и отладки на языке VHDL в САПР Quartus	Сформированное умение	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение	Успешное, но не системное умение	Фрагментарные умения или отсутствие умений