

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
радиотехники и компьютерных  
технологий**

**А.В. Дворкович**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Проектирование цифровых устройств на программируемых логических интегральных схемах
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра информатики и вычислительной техники
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составили:

Н.Ю. Поляков, ассистент

Д.М. Альфонсо

Программа обсуждена на заседании кафедры информатики и вычислительной техники 18.05.2020

## Аннотация

Данный курс предназначен для изучения базовых принципов проектирования современных цифровых устройств. В рамках данного курса будет рассмотрена элементная база современных цифровых устройств, маршрут и принципы проектирования современных цифровых устройств, основы логического проектирования, основы физического проектирования, понятие ПЛИС и их назначение. Студенты изучат основы языка описания аппаратуры Verilog и научатся проектировать устройства на базе ПЛИС, рассчитывать характеристики спроектированного устройства, применять ПЛИС для решения различных вычислительных задач. Курс проходит в формате лекционных и лабораторных занятий. Для успешного прохождения данного курса необходимо посещение и конспектирование лекций, а также выполнение заданий на макетной плате с ПЛИС.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

освоение студентами базовых знаний в области проектирования современных цифровых устройств, изучение способов их логического проектирования и отладки на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС).

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области элементной базы современных цифровых устройств, методов и маршрута их проектирования;
- обучение студентов принципам логического проектирования цифровых устройств, формирование навыков проектирования цифровых устройств при помощи языка описания аппаратуры Verilog;
- формирование знаний и проектных навыков в области проектирования и отладки цифровых устройств на ПЛИС.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость, надежность методов и	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы построения, параметры и характеристики цифровых устройств,
- язык логического проектирования Verilog;
- основы языка Ассемблера;
- области возможного применения ПЛИС.

уметь:

- ставить и решать схемотехнические задачи, связанные с выбором системы элементов при заданных требованиях к параметрам;
- реализовывать цифровые устройства на ПЛИС;
- применять ПЛИС для решения различных вычислительных задач и моделирования;
- планировать оптимальное проведение сложного эксперимента;
- сочетать эффективные оценки правильности выбранных экспериментальных условий и полученных результатов;
- устанавливать, тестировать, испытывать и использовать программно-аппаратных средства вычислительных систем.

владеть:

- навыками работы на сложном экспериментальном оборудовании;
- навыками отладки цифровых устройств на ПЛИС.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Элементная база цифровой электроники		4		3
2	Принципы проектирования цифровых устройств		4		3
3	Язык описания аппаратуры Verilog		10		3
4	Программируемые логические интегральные схемы		4		3
5	Проектирование и отладка цифровых устройств на ПЛИС		8		3
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

##### 1. Элементная база цифровой электроники

Понятие цифрового сигнала и цифровой электроники. Преимущества и недостатки цифровых технологий. МОП-структура. Режимы работы МОП-транзистора. КМОП-технология. Базовые логические элементы: НЕ, 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ, 2И, 2ИЛИ, шифратор, дешифратор, мультиплексор, сумматор. Триггер. RS-триггер, D-триггер, синхронные и асинхронные триггеры. Интегральные схемы. Классификация интегральных схем.

## 2. Принципы проектирования цифровых устройств

Маршрут проектирования цифровых интегральных схем. Современные принципы логического проектирования. Современные принципы физического проектирования. Основные проблемы проектирования современных синхронных цифровых устройств: время срабатывания логических схем, время распространения сигнала по кристаллу, проблема выбора тактовой частоты синхросигнала. Уровень регистровых передач (RTL) как способ описания синхронных цифровых устройств.

## 3. Язык описания аппаратуры Verilog

Основные принципы моделирования цифровых устройств. Моделирование сигналов. Типы переменных языка Verilog. Моделирование схем при помощи алгоритмических блоков. Понятие события при моделировании и принципы описания событий на языке Verilog. Понятие модельного времени и обработка текущих событий. Типы присваивания в языке Verilog и особенности их выполнения. Описание триггеров, регистров и комбинационных логических схем на языке Verilog. Описание устройства на языке Verilog. Иерархическое описание устройств. Среда моделирования ModelSim. Возможности языка Verilog для отладки устройства при моделировании. Синтезируемые и несинтезируемые конструкции языка.

## 4. Программируемые логические интегральные схемы

Понятие ПЛИС. Структура ПЛИС и принцип её программирования. Области применения ПЛИС. Преимущества и недостатки применения ПЛИС.

## 5. Проектирование и отладка цифровых устройств на ПЛИС

Маршрут проектирования цифровых устройств на ПЛИС. Структура некоторых современных ПЛИС. САПР проектирования цифровых устройств на ПЛИС Altera Quartus II. Встроенный логический анализатор, как средство отладки устройств на ПЛИС: понятие, принцип работы, методы использования.

Разработка цифровых устройств на ПЛИС с использованием учебного стенда.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

компьютер, мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система), учебно-лабораторный стенд.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Проектирование на ПЛИС. Архитектура, средства и методы [Текст], курс молодого бойца /К. Максфилд; пер. с англ. [В. М. Барской], The, esign Warrior's Guide to FPGA's. -М., МДК Пресс, Додэка-XXI, 2015
2. Основы цифровой схемотехники [Текст] : Базовые элементы и схемы, методы проектирования / Ю. В. Новиков - М.Мир, 2001
3. Цифровая схемотехника [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. Угрюмов .— СПб : БХВ-Петербург, 2001 .— 528 с.

### Дополнительная литература

1. Основы цифровой электроники [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Л. Ларин ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МФТИ, 2014 .— 281 с.

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

ПО Intel Quartus Prime Design Software

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе);
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра информатики и вычислительной техники
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

Н.Ю. Поляков, ассистент

Д.М. Альфонсо

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Проектирование цифровых устройств на программируемых логических интегральных схемах» обучающийся должен:

### знать:

- принципы построения, параметры и характеристики цифровых устройств,
- язык логического проектирования Verilog;
- основы языка Ассемблера;
- области возможного применения ПЛИС.

### уметь:

- ставить и решать схемотехнические задачи, связанные с выбором системы элементов при заданных требованиях к параметрам;
- реализовывать цифровые устройства на ПЛИС;
- применять ПЛИС для решения различных вычислительных задач и моделирования;
- планировать оптимальное проведение сложного эксперимента;
- сочетать эффективные оценки правильности выбранных экспериментальных условий и полученных результатов;
- устанавливать, тестировать, испытывать и использовать программно-аппаратных средства вычислительных систем.

### владеть:

- навыками работы на сложном экспериментальном оборудовании;
- навыками отладки цифровых устройств на ПЛИС.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Список заданий для выполнения на макетной плате с ПЛИС:

1. Проект "цифровые часы". Использовать: LCD-экран для индикации, кнопки на плате для настроек.
2. Проект "переходник PS/2 -> COM-порт для клавиатуры". Использовать: разъем PS/2 для ввода scan-кодов с клавиатуры, разъем RS-232 для вывода ASCII-символов на ПЭВМ через COM-порт.
3. Проект "переходник PS/2 -> COM-порт для мыши". Использовать: разъем PS/2 для ввода координатных пакетов с мыши, разъем RS-232 для вывода преобразованных координатных пакетов на ПЭВМ через COM-порт.
4. Проект "текстовый LCD-экран". Использовать: разъем RS-232 для ввода ASCII-символов от ПЭВМ через COM-порт, LCD-экран для индикации. Эмулировать экран 25x80, для чего использовать кнопки на плате для перемещения видимого окна 2x16 относительно экрана 25x80.
6. Проект "текстовый VGA-экран". Использовать: разъем RS-232 для ввода ASCII-символов от ПЭВМ через COM-порт, разъем VGA для вывода на VGA-дисплей. ASCII-символы выводить с помощью видеопамати с ASCII-кодами символов и ПЗУ знакогенератора.
8. Проект "VGA-графическая видеоигра". Использовать: разъем VGA для вывода на VGA-дисплей, для управления игрой можно использовать кнопки на плате, на клавиатуре, или мышь.
9. Диктофон. Использовать: разъем аудио входа и выхода. Для начала записи через микрофон и воспроизведения через колонки использовать кнопки на плате.
10. Аудиоплеер. Использовать встроенную память ПЛИС или flash-память на плате для хранения нескольких аудио записей. Для управления проигрыванием использовать кнопки на плате (запуск, пауза, переход к следующей записи).

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачёта в 6-ом семестре:

- 1) Понятие цифрового сигнала и цифровой электроники. Преимущества и недостатки цифровых технологий.
- 2) МОП-структура. Основные характеристики и режимы работы МОП-транзистора. КМОП-технология.
- 3) Схемы базовых логических элементов на МОП-транзисторах: НЕ, 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ, 2И, 2ИЛИ, шифратор, дешифратор, мультиплексор, сумматор.
- 4) Понятие триггера. Виды триггеров: RS-триггер, D-триггер, синхронные и асинхронные триггеры.
- 5) Интегральные схемы. Классификация интегральных схем. Преимущества и недостатки.
- 6) Маршрут проектирования цифровых интегральных схем. Современные принципы логического проектирования.
- 7) Современные принципы физического проектирования. Основные проблемы проектирования современных синхронных цифровых устройств: время срабатывания логических схем, время распространения сигнала по кристаллу, проблема выбора тактовой частоты синхросигнала.
- 8) Основные принципы моделирования цифровых устройств. Моделирование сигналов. Типы переменных языка Verilog.
- 9) Моделирование схем при помощи алгоритмических блоков. Понятие события при моделировании и принципы описания событий на языке Verilog. Понятие модельного времени и обработка текущих событий.
- 10) Типы присваивания в языке Verilog и особенности их выполнения. Описание триггеров, регистров и комбинационных логических схем на языке Verilog.
- 11) Возможности языка Verilog для отладки устройства при моделировании. Синтезируемые и несинтезируемые конструкции языка. Перечислить основные синтезируемые конструкции.
- 12) Понятие ПЛИС. Структура ПЛИС и принцип её программирования. Структура некоторых современных ПЛИС.
- 13) Понятие ПЛИС. Области применения ПЛИС. Преимущества и недостатки применения ПЛИС.
- 14) Маршрут проектирования цифровых устройств на ПЛИС. Преимущества и недостатки цифровых устройств на ПЛИС по сравнению с полностью заказными ИС.



- 15) Встроенный логический анализатор, как средство отладки устройств на ПЛИС: понятие, принцип работы, методы использования.
- 16) Описать на языке Verilog элементы НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И, ИЛИ. Разрядность входов элементов задается преподавателем.
- 17) Описать на языке Verilog полный сумматор. Разрядность сумматора задается преподавателем.
- 18) Описать на языке Verilog регистр сдвига. Разрядность регистра задается преподавателем.
- 19) Описать на языке Verilog мультиплексор с числом информационных сигналов  $n$  и числом адресных сигналов  $m$ . Каково минимально возможное значение  $m$  при заданном  $n$ ? Числа  $n$  и  $m$  задаются преподавателем.
- 20) Описать на языке Verilog дешифратор и шифратор. Разрядность входов и выходов устройств задаются преподавателем.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

Во время проведения экзамена и зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.