

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

**УТВЕРЖДЕНО**

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

**Д.А. Гаврилов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Проектирование СБИС
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Компьютерные технологии и вычислительная техника Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра перспективных вычислительных технологий
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 120 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: П.И. Крюков, преподаватель

Программа обсуждена на заседании кафедры перспективных вычислительных технологий 16.05.2023

## Аннотация

Курс направлен на обучение студентов основам проектирования сверхбольших интегральных схем (СБИС). Курс разделен на две части. В первой части курса студенты осваивают принципы описания типовых комбинационных и последовательных цифровых устройств с помощью языка описания аппаратуры Verilog. Вторая часть курса знакомит студентов с наиболее популярными приемами и архитектурными решениями, используемыми при проектировании СБИС. Рассматриваются различные накристалльные и периферийные интерфейсы. Изучаются расширенные возможности языка SystemVerilog. Для успешного окончания курса необходимо решить ряд практических задач и реализовать 2 проверочных проекта.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Познакомить студентов с основными принципами проектирования СБИС и подготовить их к практической деятельности в должности RTL-разработчика.

#### Задачи дисциплины

- Сформировать знания о правильном применении языков Verilog и SystemVerilog;
- сформировать знания о принципах проектирования СБИС.

### 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-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные этапы проектирования СБИС;
- синтаксис языков Verilog и SystemVerilog;
- порядок исполнения выражений и блоков в Verilog/SystemVerilog;
- принципы описания комбинационных и последовательных устройств;
- способы реализации конечных автоматов;
- наиболее популярные накристалльные и периферийные интерфейсы;
- правила пересечения тактовых доменов;
- особенности проектирования систем на кристалле.

уметь:

- реализовывать на Verilog отдельные RTL-модули;
- применять иерархический подход к разработке RTL-модулей;
- использовать SystemVerilog для проверки RTL-модулей.

владеть:

- инструментами разработчика СБИС.

### 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	Введение в проектирование СБИС	2			7
2	Основные конструкции Verilog	2		2	8
3	Иерархический подход к разработке	2		2	8
4	Комбинационные устройства	2		2	8
5	Последовательные устройства	2		2	8
6	Конечные автоматы	2		2	8
7	Устройства хранения данных	2		2	8
8	Проверочная работа №1. Разработка многокомпонентного модуля	1		3	5
9	Введение в проектирование систем на кристалле	2			7
10	Накристалльные интерфейсы	2		2	8
11	Периферийные интерфейсы	2		2	8
12	Алгоритм работы и реализация FIFO	2		2	8
13	Пересечение тактовых доменов	2		2	8
14	SystemVerilog Assertions	2		2	8
15	Проверочная работа №2. Разработка системы на кристалле	3		5	13
Итого часов		30		30	120
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

## Семестр: 7 (Осенний)

### 1. Введение в проектирование СБИС

Обзор маршрута проектирования СБИС. Постановка задачи. Разработка архитектуры. Языки описания аппаратуры. Синтез и топология. Верификация и прототипирование. Программируемые логические интегральные схемы.

### 2. Основные конструкции Verilog

Синтаксис Verilog. Модули и порты. Типы данных. Побитовые операторы. Непрерывное присваивание. Блоки initial и always. Параллельное выполнение блоков. Проверка модулей с помощью testbench.

### 3. Иерархический подход к разработке

Иерархический подход к разработке. Интеграция модулей. Способы подключения портов.

### 4. Комбинационные устройства

Описание комбинационных устройств на Verilog. Мультиплексоры. Демультимплексоры. Шифраторы. Дешифраторы. Семисегментный индикатор.

### 5. Последовательные устройства

Описание последовательных устройств на Verilog. Триггеры. Тактовый сигнал. Активный уровень сброса. Сдвиговые регистры. Счетчики.

### 6. Конечные автоматы

Принципы построения конечных автоматов. Автоматы Мили и Мура. Способы кодирования состояний. Описание конечных автоматов на Verilog.

### 7. Устройства хранения данных

Регистры и память. Регистровый файл. Массивы в Verilog.

### 8. Проверочная работа №1. Разработка многокомпонентного модуля

Реализация и тестирование многокомпонентного модуля.

## Семестр: 8 (Весенний)

### 9. Введение в проектирование систем на кристалле

Центральный процессор. Периферийные устройства. Interconnect. Адресное пространство. Сложно-функциональные блоки. Инфраструктура разработки. Система контроля версий.

### 10. Накристалльные интерфейсы

Интерфейсы семейства AMBA. AXI. AXI-Lite. AXI-Stream. AHB. APB. Интерфейсы в SystemVerilog.

### 11. Периферийные интерфейсы

Высокоскоростные интерфейсы. PCIe. JESD204. Ethernet. Проприетарные протоколы. Низкоскоростные протоколы. UART. SPI. IIC.

## 12. Алгоритм работы и реализация FIFO

Принцип работы FIFO. Синхронное и асинхронное FIFO. Особенности реализации. Очереди и динамические массивы в SystemVerilog.

## 13. Пересечение тактовых доменов

Время установки и удержания. Тактовые домены. Асинхронные тактовые сигналы. Метастабильность. Синхронизаторы.

## 14. SystemVerilog Assertions

Предназначение и способы применения assertions. Sequence. Property. Операторы в assertions. Cover. Assume.

## 15. Проверочная работа №2. Разработка системы на кристалле

Разработка и тестирование системы на кристалле.

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

Необходимое оборудование для лекций: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. — Москва, ДМК Пресс, 2017.— URL: <https://e.lanbook.com/book/97336> (дата обращения: 30.12.2020). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)
2. Язык Verilog в проектировании встраиваемых систем на FPGA / В. В. Соловьев. – М.: Горячая линия - Телеком, 2023. – 440 с.: ил.
3. Verilog by example. A concise introduction for FPGA design / Blaine C. Redler

### Дополнительная литература

1. Digital Fundamentals / Thomas L. Floyd
2. SystemVerilog for design. A Guide to using SystemVerilog for hardware design and modeling / S. Sutherland, S. Davidmann, P. Flake.
3. Логическое проектирование и верификация систем на SystemVerilog / Д. Томас. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 384 с.: ил.

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

<https://nandland.com/>  
<https://www.chipverify.com/>  
<https://chipdev.io/>  
<https://edaplayground.com/>  
<http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха

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

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

В ходе лекционных занятий студенту рекомендуется вести конспектирование учебного материала, задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций. Рекомендуется обращать внимание на причины, приведшие к изобретению рассматриваемых методов и подходов, их сильные и слабые стороны, границы их области применения.

Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы способствует успешному освоению содержания дисциплины, которая включает в себя:

- проработку лекций с использованием конспекта и литературой, рекомендуемых данной программой;
- решение задач на практическое применение теоретического материала;
- подготовку к зачёту и дифференцированному зачету.

Также студент может дополнить список литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы.

Руководство и контроль за уровнем проработки студентом прослушанных лекций проводится преподавателем на лекционных занятиях и индивидуальных консультациях, в том числе при анализе решения задач для самостоятельной подготовки.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Компьютерные технологии и вычислительная техника Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра перспективных вычислительных технологий
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Зачет

8 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** П.И. Крюков, преподаватель

## 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-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Проектирование СБИС» обучающийся должен:

### знать:

- основные этапы проектирования СБИС;
- синтаксис языков Verilog и SystemVerilog;
- порядок исполнения выражений и блоков в Verilog/SystemVerilog;
- принципы описания комбинационных и последовательных устройств;
- способы реализации конечных автоматов;
- наиболее популярные на кристаллы и периферийные интерфейсы;
- правила пересечения тактовых доменов;
- особенности проектирования систем на кристалле.

### уметь:

- реализовывать на Verilog отдельные RTL-модули;
- применять иерархический подход к разработке RTL-модулей;
- использовать SystemVerilog для проверки RTL-модулей.

### владеть:

- инструментами разработчика СБИС.



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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводятся письменные домашние задания по каждому из разделов курса.

Примерные темы проверочных проектов:

1. Написать рекурсивную функцию на RISC-V ассемблере, которая, например, вычисляет выражение, записанное в обратной польской записи.
2. Сравнить модели предсказателя переходов в симуляторе на разных ассемблерных программах.
3. Исследовать свойства кэшей на своем компьютере с помощью C++ программы.
4. Сравнить производительность разных способов внеочередного исполнения команд с помощью механистической модели

За каждое задание студент получает оценку в соответствии с таблицей критерия оценивания.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи зачета в осеннем семестре:

1. Обзор маршрута проектирования СБИС. Постановка задачи.
2. Синтаксис Verilog. Модули и порты. Типы данных. Побитовые операторы.
3. Основные конструкции Verilog. Блоки initial и always. Параллельное выполнение блоков.
4. Иерархический подход к разработке. Интеграция модулей. Способы подключения портов.
5. Описание последовательных устройств на Verilog. Триггеры.
6. Тактовый сигнал. Активный уровень сброса. Сдвиговые регистры. Счетчики.
7. Принципы построения конечных автоматов. Автоматы Мили и Мура.
8. Конечные автоматы. Способы кодирования состояний. Описание конечных автоматов на Verilog.
9. Устройства хранения данных. Регистры и память.
10. Регистровый файл. Массивы в Verilog.

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в весеннем семестре:

1. Центральный процессор. Периферийные устройства. Interconnect.
2. Адресное пространство. Сложно-функциональные блоки.
3. Инфраструктура разработки. Система контроля версий.
4. Интерфейсы семейства AMBA. AXI. AXI-Lite. AXI-Stream. AHB. APB.
5. Интерфейсы в SystemVerilog.
6. Высокоскоростные интерфейсы. PCIe. JESD204.
7. Ethernet. Проприетарные протоколы. Низкоскоростные протоколы. UART. SPI. IIC.
8. Принцип работы FIFO. Синхронное и асинхронное FIFO. Особенности реализации. Очереди и динамические массивы в SystemVerilog.
9. Время установки и удержания. Тактовые домены. Асинхронные тактовые сигналы. Метастабильность. Синхронизаторы.
10. Предназначение и способы применения assertions. Sequence. Property. Операторы в assertions. Cover. Assume.

#### Критерии оценивания

"Зачтено" - выставляется студенту, показавшему владение основными положениями курса, умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

"Не зачтено" - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

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**

Зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и путем организации специального опроса, проводимого в устной и (или) письменной форме.

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

Во время проведения зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и путем организации специального опроса, проводимого в устной и (или) письменной форме.

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

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.