

**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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Основы микроархитектуры компьютеров
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра микропроцессорных технологий в интеллектуальных системах управления
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: И.В. Петушков, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры микропроцессорных технологий в интеллектуальных системах управления 30.03.2023

Аннотация

В курсе рассматриваются основные современные подходы к проектированию цифровых последовательностных микросхем и разработки различных простых типовых микроархитектур процессоров на примере архитектуры RISC-V. Курс вертикально интегрирован и включает темы от разработки простых логических элементов до сложнофункциональных блоков. Логически курс состоит из двух частей, первая рассказывает про общие принципы проектирования микросхем. Вторая часть фокусируется на частном случае микросхем – процессорах и подсистеме памяти компьютера. Особое внимание уделяется получению практических навыков разработки, оптимизации, моделирования и верификации простых микропроцессоров.

Отдельные лекции посвящены изучению булевой алгебры, языка Верилог, сложнофункциональных блоков. Практические задачи выполняются на примере архитектуры RISC-V.

Для успешного освоения курса слушателю необходимо владеть языком ассемблера и ЯВУ Си/Си++, уметь применять основные алгоритмы, знать основы архитектуры и микроархитектуры ЭВМ.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- представление теоретических принципов и практических подходов разработки микропроцессоров ЭВМ.

Задачи дисциплины

- Знание архитектуры и микроархитектуры процессора и их взаимосвязи
- Умение проектировать типовые модели процессоров на языке Верилог
- Базовые принципы оптимизация микросхем (площадь, стоимость, энергопотребление, производительность)

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 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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные методы проектирования, применяемые при разработке сложных микропроцессоров;
- основные сложнофункциональные блоки применяемые при разработке микросхем.

уметь:

- моделировать работу микросхем описанных на языке Верилог с помощью программных средств моделирования;
- работать с документацией архитектуры системы команд, уметь извлекать из неё информацию необходимую для реализации микроархитектуры процессора;
- разрабатывать дизайн и реализацию простых видов микроархитектур (однотактные, многотактные, конвейерные с последовательным исполнением) для заданной архитектуры.

владеть:

- пониманием основных принципов функционирования микросхем и процессоров;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы и использования информации из баз знаний в Интернет;
- культурой постановки и проектирования задач при разработке микросхем.

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	Принципы проектирования микроэлектроники, логические элементы, энергопотребление	2			2
2	Комбинационная логика	1	1		2
3	Синхронные последовательностные схемы	2	2		4
4	Язык описания аппаратуры Верилог	2	4		6
5	Цифровые функциональные блоки	2			2
6	Система команд RISC-V		2		2
7	Однотактная, многотактная и конвейерная микроархитектуры ЦП	4	4		8
8	Подсистема памяти	1	1		2
9	Микроархитектура ЦП с внеочередным исполнением инструкций	1	1		2
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

1. Принципы проектирования микроэлектроники, логические элементы, энергопотребление

Основные принципы проектирования микроэлектроники, цифровая абстракция, логические уровни, логические элементы на КМОП транзисторах, энергопотребление КМОП-микросхем.

2. Комбинационная логика

Булевы выражения и их оптимизация, булева алгебра, многоуровневая комбинационная логика, незначащие состояния и состояния с высоким импедансом, карты Карно, основные комбинационные блоки, временные характеристики комбинационных микросхем.

3. Синхронные последовательностные схемы

Защелки и триггеры, проектирование синхронных логических схем, конечные автоматы, синхронизация последовательностных схем, параллелизм

4. Язык описания аппаратуры Верилог

Описание комбинационной и последовательностной, структурное моделирование, описание конечных автоматов, параметризованные модули, верификация микросхем и среда тестирования

5. Цифровые функциональные блоки

Арифметические схемы, дополнительный код, последовательностные функциональные блоки, матрицы памяти и логических элементов

6. Система команд RISC-V

Введение в архитектуру RISC-V и базовую систему команд RV32I. Язык ассемблера и машинный язык. Структура ELF-файла.

7. Однотактная, многотактная и конвейерная микроархитектуры ЦП

Анализ производительности, Однотактный процессор, Многотактный процессор, конвейерный процессор с последовательным исполнением инструкций, добавление новых стадий в конвейерную микроархитектуру, улучшение микроархитектуры

8. Подсистема памяти

Анализ производительности систем памяти, кэш-память, виртуальная память и её реализация в RISC-V, отображение работы с устройствами ввода-вывода в память.

9. Микроархитектура ЦП с внеочередным исполнением инструкций

Микроархитектура ЦП с внеочередным исполнением инструкций и основные причины её появления. Преимущества и недостатки. Аналитическая модель производительности такой микроархитектуры. Оптимизация.

Для проведения занятий требуется учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием (проектором).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Дэвид Хэррис, Сара Хэррис. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. ДМК Пресс. ISBN 978-5-97060-450-2
2. Эндрю Таненбаум. Архитектура компьютера. // 5-е изд. СПб.: «Питер», 2006.

Дополнительная литература

1. Джон Л. Хеннесси, Дэвид А. Паттерсон. Компьютерная архитектура. Количественный подход. М: Техносфера. ISBN: 978-5-94836-413-1

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

1. The Sniper Multi-Core Simulator, https://snipersim.org/w/The_Sniper_Multi-Core_Simulator
2. The RISC-V Instruction Set Manual, Volume I: Unprivileged ISA.
<https://riscv.org/technical/specifications/>

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Успешное освоение курса требует посещение лекций и самостоятельная работа с литературой. Самостоятельная работа включает в себя: чтение и конспектирование рекомендованной литературы, просмотр интернет-ресурсов по тематике курса, подготовку к экзамену.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра микропроцессорных технологий в интеллектуальных системах управления
курс:	4
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	И.В. Петушков, ассистент

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 «Основы микроархитектуры компьютеров» обучающийся должен:

знать:

- основные методы проектирования, применяемые при разработке сложных микропроцессоров;
- основные сложнофункциональные блоки применяемые при разработке микросхем.

уметь:

- моделировать работу микросхем описанных на языке Верилог с помощью программных средств моделирования;
- работать с документацией архитектуры системы команд, уметь извлекать из неё информацию необходимую для реализации микроархитектуры процессора;
- разрабатывать дизайн и реализацию простых видов микроархитектур (однотактные, многотактные, конвейерные с последовательным исполнением) для заданной архитектуры.

владеть:

- пониманием основных принципов функционирования микросхем и процессоров;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы и использования информации из баз знаний в Интернет;
- культурой постановки и проектирования задач при разработке микросхем.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена:

1. Принцип работы и временные характеристики D-триггера. Синхронизация последовательностных схем.
2. Основные подходы оптимизации комбинационной логики.
3. Цифровая абстракция, логические уровни, логические элементы на КМОП транзисторах, энергопотребление КМОП-микросхем.
4. Сравнение основных характеристик одноктактного, многотактного и конвейерного процессоров.
5. Многотактный процессор. Построение оптимального конечного автомата управления.
6. Конвейерный процессор. Сходства и различия с одноктактным процессором. Модели разрешения конфликтов.
7. Микропроцессор с внеочередным исполнением команд и его аналитическая модель. Оптимизация.
8. Анализ производительности систем памяти, кэш-память.
9. Виртуальная память в RISC-V.
10. Цифровые функциональные блоки и их основные характеристики
11. Язык ассемблера и машинный язык RISC-V. Структура ELF-файла.

Примеры билетов к экзамену

Билет №1

1. Принцип работы и временные характеристики D-триггера. Синхронизация последовательностных схем.
2. Цифровые функциональные блоки и их основные характеристики

Билет № 2

1. Основные подходы оптимизации комбинационной логики.
2. Язык ассемблера и машинный язык RISC-V. Структура ELF-файла.

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

Экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 час на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамен обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.