

**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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Элементы цифровых устройств
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра информатики и вычислительной техники
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

В.А. Шмелев, ассистент

И.А. Молчанов

Программа обсуждена на заседании кафедры информатики и вычислительной техники 18.05.2020

Аннотация

Курс предназначен для изучения принципов построения и применения электронных схем, использующихся в современной цифровой схемотехнике. В рамках данного курса учащиеся приобретут понятия о предметной области целиком, создадут исходную конструкцию знаний, которую они даже будут пополнять в специализированных предметах. В результате данного курса студенты смогут ориентироваться на всех уровнях построения цифровых схем "от транзистора до компьютера", включая как математические основы цифровой логики и физические основы функционирования транзисторов, так и специфику современной цифровой техники, в том числе программную (рассмотрение работы ассемблерных инструкций) и физическую часть (производство и использование современных СБИС и связанные с этим факторы). Курс проводится в виде лекций. Для успешного освоения курса необходимо своевременное освоение даваемой на лекциях информации, возможно, включая самостоятельную работу с дополнительной литературой.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

освоение студентами теоретических знаний и практических навыков в области проектирования и применения современной элементной базы интегральных цифровых устройств.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний и навыков в области проектирования элементов цифровых устройств на уровне вентилей и отдельных функциональных блоков;
- обучение студентов навыкам применения средств моделирования электронных схем;
- формирование знаний о схемотехнических решениях, применяемых в современной элементной базе цифровых устройств;
- формирование общего представления о проблемах и направлениях развития схемотехники современной элементной базы цифровых устройств.

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 параметры, характеристики, принципы работы полупроводниковых приборов и элементов, применяемых в современных цифровых интегральных схемах;
- ☐ принципы построения, параметры, характеристики вентилях и функциональных блоков цифровых устройств;
- ☐ схемотехнические решения, наиболее широко применяемые при проектировании цифровых устройств, их достоинства, недостатки;
- ☐ методы проектирования и оптимизации по заданным параметрам функциональных блоков цифровых устройств;
- ☐ простейшие методики моделирования и численного расчёта параметров вентилях и функциональных блоков цифровых устройств.

уметь:

- ☐ применять стандартные схемотехнические решения при проектировании вентилях и элементов цифровых устройств;
- ☐ давать качественную оценку параметров и характеристик спроектированных устройств, понимать характер влияния схемотехнических решений на эти параметры;
- ☐ решать схемотехнические задачи по проектированию узлов цифровых устройств с заданными функциональными и эксплуатационными параметрами;
- ☐ применять стандартные методы проектирования функциональных блоков цифровых устройств;
- ☐ применять средства и инструменты математического моделирования цифровых устройств и систем на различных уровнях абстракции.

владеть:

- ☐ навыками работы с технической документацией, в том числе на иностранных языках;
- ☐ навыками применения системного и прикладного программного обеспечения, систем автоматизированного проектирования;
- ☐ математическим аппаратом, применяемым для инженерных расчётов.

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	Обзор современной элементной базы интегральных цифровых устройств.	2			4
2	Схемотехника вентилях, применяемых в современных цифровых ИС.	7			5
3	Схемотехника и проектирование комбинационной логики.	5			4
4	Схемотехника и проектирование триггеров и конечных автоматов.	5			4
5	Интегральная память.	7			5
6	Синхронизация в цифровых схемах.	2			4

7	Компьютерное моделирование электронных схем.	2			4
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Обзор современной элементной базы интегральных цифровых устройств.

МДП транзистор. Принцип работы, основные уравнения.

Краткие сведения о технологии производства МДП интегральных схем.

Классификация цифровых элементов, основные характеристики.

2. Схемотехника вентиляей, применяемых в современных цифровых ИС.

МОП цифровая схемотехника. Статическая КМОП логика. КМОП инвертор — принцип работы, передаточная характеристика, анализ переходного процесса, оценка задержки, оценка потребляемой мощности. Проектирование вентиляей КМОП, оценка быстродействия вентиля. Схемы на проходных транзисторах (n- p- и комплементарные ключи), параметры, применение. Динамическая логика, логика домино.

3. Схемотехника и проектирование комбинационной логики.

Проектирование комбинационных схем, минимизация логических функций, карты Карно.

Метод минимизации Куайна. Шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры. Сумматоры (архитектуры, оценка быстродействия).

Умножители (архитектуры, оценка быстродействия).

4. Схемотехника и проектирование триггеров и конечных автоматов.

Триггерные схемы. Классификация триггеров. RS, T, D, JK триггеры. Схемы триггеров с переключением по фронту синхросигнала. Конечные автоматы. Классификация, описание, проектирование. Счётчики. Архитектуры, оценка быстродействия.

Регистры и регистровые файлы.

5. Интегральная память.

Запоминающие устройства.

Статические и динамические ОЗУ, ПЗУ и Flash-память.

Параметры ЗУ, архитектура, основные блоки.

Память с произвольным и последовательным доступом.

Память с ассоциативным доступом и кэш-память.

6. Синхронизация в цифровых схемах.

Связь параметров синхросигнала с эксплуатационными параметрами вентиляей и триггеров.

Изохронные, мезохронные и плезиохронные схемы.
Базовые принципы построения схем PLL и DLL.
Распределение синхросигнала по кристаллу. Дерево и сетка синхронизации.

7. Компьютерное моделирование электронных схем.

Обзор средств моделирования электронных систем и схем на различных уровнях абстракции.
Базовые сведения о «быстрых» и SPICE симуляторах.

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

компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Искусство схемотехники [Текст]/П. Хоровиц, У. Хилл, -М., БИНОМ, 2012
2. Основы цифровой схемотехники [Текст] : Базовые элементы и схемы, методы проектирования / Ю. В. Новиков - М. Мир, 2001

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)

1. Харрис, Д.М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д.М. Харрис, С.Л. Харрис ; пер. с англ. Imagination Technologies. - Москва : ДМК Пресс, 2018. - 792 с. - ISBN 978-5-97060-570-7. - Текст : электронный. - URL:
<http://easyelectronics.ru/files/Book/digital-design-and-computer-architecture-russian-translation.pdf>

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

Мультимедийные технологии. MS PowerPoint , демонстрация презентаций.

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, учебной и научной литературе);
- подготовку к экзамену.

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

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра информатики и вычислительной техники
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Разработчики:

В.А. Шмелев, ассистент

И.А. Молчанов

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 «Элементы цифровых устройств» обучающийся должен:

знать:

- ☐ основные параметры, характеристики, принципы работы полупроводниковых приборов и элементов, применяемых в современных цифровых интегральных схемах;
- ☐ принципы построения, параметры, характеристики вентилях и функциональных блоков цифровых устройств;
- ☐ схемотехнические решения, наиболее широко применяемые при проектировании цифровых устройств, их достоинства, недостатки;
- ☐ методы проектирования и оптимизации по заданным параметрам функциональных блоков цифровых устройств;
- ☐ простейшие методики моделирования и численного расчёта параметров вентилях и функциональных блоков цифровых устройств.

уметь:

- ☐ применять стандартные схемотехнические решения при проектировании вентиляей и элементов цифровых устройств;
- ☐ давать качественную оценку параметров и характеристик спроектированных устройств, понимать характер влияния схемотехнических решений на эти параметры;
- ☐ решать схемотехнические задачи по проектированию узлов цифровых устройств с заданными функциональными и эксплуатационными параметрами;
- ☐ применять стандартные методы проектирования функциональных блоков цифровых устройств;
- ☐ применять средства и инструменты математического моделирования цифровых устройств и систем на различных уровнях абстракции.

владеть:

- ☐ навыками работы с технической документацией, в том числе на иностранных языках;
- ☐ навыками применения системного и прикладного программного обеспечения, систем автоматизированного проектирования;
- ☐ математическим аппаратом, применяемым для инженерных расчётов.

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

1. Булева алгебра. Основные законы и правила. Логические функции, их выражение и преобразование.
2. Принципы построения КМОП-схем. КМОП-вентили (NAND, NOR, инвертор). МОП-структура.
3. Полевой транзистор.
4. Микроэлектроника: получение кремния, технологические операции. Фотолитография и ионная имплантация. Корпусировка.
5. КМОП. Сравнение с историческими техпроцессами и логическими базисами.
6. Элементы комбинационной логики: мультиплексор, демультиплексор, селектор, кроссбар, шифратор, дешифратор.
7. Сумматоры. Ускорение суммирования. Умножители, делители.
8. Триггеры: RS, D, T, JK. Динамические триггеры: DD, TT.
9. Регистры с параллельной записью и чтением, сдвиговый, счётный, общего назначения.
10. Организация памяти. SRAM и DRAM. Типы ROM.
11. Структура и принципы работы процессора. Ассемблер, пути данных при выполнении различных команд. Схемы адресации. Трансляция адресов памяти, защита памяти.
12. Методы ускорения работы аппаратуры: прерывания, DMA, кэш, конвейеры, SIMD, VLIW, RISC. Высокоскоростные интерфейсы, дифференциальная передача, clock recovery, PLL.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 7-ом семестре:

1. МДП транзистор. Принцип работы, основные уравнения.
2. Классификация цифровых элементов, основные характеристики.
3. МОП цифровая схемотехника. Статическая КМОП логика. КМОП инвертор — принцип работы, передаточная характеристика.
4. КМОП инвертор — анализ переходного процесса, оценка задержки, оценка потребляемой мощности.
5. МОП цифровая схемотехника. Статическая КМОП логика. Проектирование вентиляей, оценка быстродействия вентиля.
6. МОП цифровая схемотехника. Схемы на проходных транзисторах (n- p- и комплементарные ключи), параметры, применение.
7. МОП цифровая схемотехника. Динамическая логика.
8. МОП цифровая схемотехника. Логика домино.
9. Комбинационная логика. Проектирование комбинационных схем, минимизация логических функций, карты Карно.
10. Комбинационная логика. Шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры.

11. Комбинационная логика. Сумматоры (архитектуры, оценка быстродействия).
12. Комбинационная логика. Умножители (архитектуры, оценка быстродействия).
13. Триггерные схемы. Классификация триггеров. RS, T, D, JK триггеры.
14. Триггерные схемы. Схемотехника триггеров с переключением по фронту синхросигнала.
15. Конечные автоматы. Классификация, описание, проектирование.
16. Счётчики. Архитектуры, оценка быстродействия. Регистры и регистровые файлы.
17. Запоминающие устройства. Статические и динамические ОЗУ, ПЗУ и Flash-память. Параметры, архитектура, основные блоки.
18. Запоминающие устройства. Память с произвольным и последовательным доступом, кэш-память.
19. Схемы PLL, DLL.
20. Компьютерное моделирование полупроводниковых приборов и электронных схем. SPICE-симуляторы, модели приборов, язык описания схем.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. МДП транзистор. Принцип работы, основные уравнения.
2. Схемы PLL, DLL.

Билет 2.

1. Классификация цифровых элементов, основные характеристики.
2. Компьютерное моделирование полупроводниковых приборов и электронных схем. SPICE-симуляторы, модели приборов, язык описания схем.

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 не менее 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.