

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Механико-математический факультет

**УТВЕРЖДАЮ**
декан механико-
математического факультета
/А.И.
Шафаревич /
« 14 » октября 2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

**Математические модели и методы логического синтеза сверхбольших
интегральных схем**

Уровень высшего образования:
магистратура

Направление подготовки / специальность:
02.04.01 "Математика и компьютерные науки" (3++)

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:
Интеллектуальные системы. Теория и приложения

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании Ученого совета механико-математического факультета
(протокол № 7 от 14 октября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 02.04.01 "Математика и компьютерные науки" утвержденного Приказом Министерства образования и науки РФ от 10 января 2018 г. N 13.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

дисциплина относится к блоку профессиональной подготовки вариативной части ОПОП ВО.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Для того чтобы изучение дисциплины было возможно, обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Знать: основные понятия, концепции, результаты и методы дискретной математики, теории вероятностей, математического анализа и линейной алгебры.

Уметь: решать стандартные задачи дискретной математики и теории вероятностей.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
Содержание и код компетенции.	Индикатор (показатель) достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с индикаторами достижения компетенций
ПК-8. Способен руководить проектами со стороны заказчика по созданию, внедрению и использованию одной или нескольких сквозных цифровых субтехнологий искусственного интеллекта в прикладных областях	ПК-8.5. Руководит исследовательскими проектами по развитию перспективных направлений в области искусственного интеллекта со стороны заказчика	ПК-8.5. З-1. Знает современное состояние и перспективы развития перспективных направлений, методов и технологий в области искусственного интеллекта ПК-8.5. У-1. Умеет проводить анализ перспективных направлений, методов и технологий в области искусственного интеллекта и определять наиболее перспективные для различных областей применения со стороны заказчика

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов. 48 часов составляет контактная работа с преподавателем – 32 часа занятий лекционного типа, 16 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 60 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1. Задача проектирования цифровых СБИС и связанные с ней модели дискретных управляющих систем.	10	4	15	29	опрос
Тема 2. Логическая оптимизация логических схем.	8	4	15	27	опрос
Тема 3. Привязка логической схемы к библиотеке.	8	4	15	27	опрос
Тема 4. Верификация логических схем.	6	4	15	25	Опрос
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—	—	—	—
Промежуточная аттестация (экзамен)	—	—	—	—	—
Итого	32	16	60	108	—

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Задача проектирования цифровых СБИС и связанные с ней модели дискретных управляющих систем.	<p>Общие сведения о проектировании цифровых интегральных схем, средства автоматизации проектирования. Основные стратегии проектирования цифровых интегральных схем. Уровни абстракции при проектировании цифровых интегральных схем. Комбинационные и последовательные схемы.</p> <p>Упрощенный маршрут проектирования современных цифровых интегральных схем. Меры качества и параметры, оптимизируемые при проектировании интегральных схем.</p> <p>N- и P-канальные транзисторы, и их основные характеристики. Методы синтеза комбинационных КМОП-схем.</p> <p>Связь между логическим и транзисторным уровнем, понятие о технологической библиотеке.</p> <p>Представление об RC-схемах и их задержке, временной анализ транзисторных схем. Логическая и транзисторная схемы асинхронной ячейки памяти(защелки), ее функционирование. Схема D-триггера и его связь с единичной задержкой.</p>
2.	Тема 2. Логическая оптимизация логических схем.	<p>Различные способы представления функций алгебры логики. Комбинационные логические сети, их оптимизация.</p> <p>Инверсные графы. Структурное хеширование и алгоритмы минимизации инверсных графов.</p> <p>Синхронные логические схемы, их связь со схемами из функциональных элементов и элементов задержки. Алгоритмы временной оптимизации синхронных логических схем.</p>
3.	Тема 3. Привязка логической схемы к библиотеке.	<p>Общая постановка и схема решения задачи привязки к библиотеке.</p> <p>Поиск структурных соответствий. Рекурсивный алгоритм поиска структурных соответствий. Поиск структурных соответствий при помощи алгоритма Ахо-Корасик.</p> <p>Задача привязки логической схемы к библиотеке при проектировании устройств на базе программируемых логических интегральных схем. Основные подходы к ее решению.</p>

	Тема 4. Верификация логических схем.	<p>Задача выполнимости булевых формул. Основные принципы и подходы к построению эффективных программ для решения указанной задачи.</p> <p>Задача верификации логических комбинационных схем (combinational equivalence checking). Основные методы решения указанной задачи.</p>
--	--------------------------------------	---

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Примеры заданий для практических занятий

- Построить по определению КМОП схему для булевой функции:
 - $f(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2$
 - $f(x, y_1, y_2) = \bar{x}y_1 \vee xy_2$
 - $f(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_1x_2 \vee x_3x_4$
- Используя модифицированный метод каскадов, в котором переменные для разложения выбираются методом «градиентного спуска», построить контактную схему для следующей булевой функции:
 - $f(x_1, x_2, x_3) = (0001\ 0111)$
 - $f(x_1, x_2, x_3, x_4) = (0110\ 0001\ 0110\ 1000)$
- Построить BDD для функции: (0001 0110 1000 1001)
- Построить BDD для функции: $x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus x_5$
- Построить BDD для системы функций, реализующих сумматор двух двухбитовых чисел.
- Применить операцию подстановки констант к любой из функций, построенных при решении задач предыдущего блока
- Используя оператор ITE построить BDD для функции суммы по модулю два 2 для 10 переменных, используя функцию суммы по модулю два для 5 переменных в качестве подфункций.
- Пусть заданы следующие структурные модели: S1:
 - $y_1 = x_1 \wedge x_2$
 - $o_1 = y_1 \wedge x_3$
 - $y_2 = x_1 \& x_2$
 - $y_3 = x_2 \& x_3$
 - $y_4 = x_3 \& x_1$
 - $y_5 = y_2 \mid y_3$

$$o2 = y5 \mid y4$$

#S2:

$$z1 = x1 \wedge x2$$

$$oo1 = z1 \wedge x3$$

$$z2 = x1 \& x2$$

$$z3 = z1 \& x3$$

$$oo2 = z2 \mid z3$$

- Проверить структурные модели S1 и S2 на эквивалентность.
- Построить тест для структурной модели S2 относительно константной неисправности: $z3 = 1 \& x3$.
- Используя преобразование Цейтина, постройте КНФ для структурных моделей S1 и S2.
- Используя построенные КНФ, постройте "митру" для выходов указанных структурных моделей($(o1 \wedge oo1) \mid (o2 \wedge oo2)$)
- Используя построенную "митру" и SAT, проверить эквивалентность структурных моделей S1 и S2.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Программа экзамена:

- 1) Общие сведения о проектировании цифровых СБИС, средства автоматизации проектирования. Основные стратегии проектирования цифровых СБИС.
- 2) Методология проектирования на основе стандартных элементов (ячеек). Программируемые логические интегральные схемы. Системы на кристалле.
- 3) Уровни абстракции при проектировании цифровых СБИС. Математические модели, используемые для описания различных уровней абстракции цифровой СБИС. Комбинационные и последовательные схемы.
- 4) Упрощенный маршрут проектирования современных цифровых СБИС.
- 5) Меры качества разработки цифровых СБИС. Параметры, оптимизируемые при проектировании СБИС. Источники шума в СБИС, влияние шума на цифровые СБИС.
- 6) N- и P-канальные транзисторы, их проводимость. Логические схемы НЕ, 2-НЕ-ИЛИ и др. Передаточная характеристика по напряжению, запас устойчивости по шуму и поглощение шума на примере КМОП инвертора.
- 7) Структура и функционирование КМОП-схемы общего вида, правильные комбинационные КМОП-схемы.
- 8) Синтез комбинационных КМОП-схем на основе структурного моделирования контактных схем (КС), итеративно-контактных схем (ИКС) и схем из функциональных элементов (СФЭ). Примеры и сравнительный анализ разных типов структурного моделирования (СФЭ, КС и ИКС).

- 9) Связь между логическим и транзисторным уровнем, понятие о технологической библиотеке.
- 10) Представление об RC-схемах и их задержке, временной анализ транзисторных схем. Логическая и транзисторная схемы асинхронной ячейки памяти (защелки), ее функционирование. Схема D-триггера и его связь с единичной задержкой.
- 11) Различные способы представления функций алгебры логики (ФАЛ) (таблицы истинности, формулы, двоичные решающие диаграммы, схемы из функциональных элементов). Сравнение указанных представлений и их ограничения.
- 12) Комбинационные логические сети (КЛС). Задача оптимизации КЛС (различные постановки задач, функционалы качества при оптимизации КЛС). Основные типы преобразований КЛС: исключение, разложение, экстракция, упрощение и подстановка.
- 13) Конъюнктивно-инверсные графы (And-Inverter Graphs (AIG)). Связь AIG со СФЭ в базисе Поста. Структурное хэширование AIG. Основные типы преобразования AIG. Алгоритмы минимизации AIG.
- 14) Синхронные логические схемы (СЛС). Связь СЛС со схемами из функциональных элементов и элементов задержки. Алгоритмы временной оптимизации СЛС (Retiming).
- 15) Общая постановка задачи. Общая схема решения (этапы решения). Приведение схемы (decomposition), разбиение схемы (partitioning), поиск соответствий (matching), поиск оптимального покрытия (covering).
- 16) Поиск структурных соответствий (structural matching). Постановка задачи. Рекурсивный алгоритм поиска структурных соответствий.
- 17) Задача поиска подстроки в строки. Алгоритм Ахо-Корасик. Кодирование деревьев при помощи строк. Поиск структурных соответствий при помощи алгоритма Ахо-Корасик.
- 18) Задача привязки логической схемы к библиотеке при проектировании устройств на базе программируемых логических интегральных схем. Основные подходы к ее решению.
- 19) Задача выполнимости булевых формул. Основные принципы и подходы к построению эффективных программ для решения указанной задачи.
- 20) Задача верификации логических комбинационных схем (combinational equivalence checking). Основные методы решения указанной задачи.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

<i>(виды оценочных средств: опрос, тесты)</i>				
Умения <i>(виды оценочных средств: практические задания)</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности неприципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) <i>(виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)</i>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная учебно-методическая литература

- 1) Brayton R.K., Logic Synthesis. — Univ. of California, Berkeley, 2000.
- 2) Hachtel G.D., Somenzi F. Logic Synthesis and Verification Algorithms. – Kluwer Academic Publishers, 2002.
- 3) Giovanni De Micheli Synthesis and Optimization of Digital Circuits. – McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1994.

Дополнительная учебно-методическая литература

- 1) Ложкин С.А. Лекции по основам кибернетики. — М.: Изд. Отдел ф-та ВМиК МГУ, 2004. — 256 с.
- 2) Ж.М. Рабаи, А. Чандракасан, Б. Николич Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. – Вильямс, 2007.

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

нет

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- <https://dl.acm.org/>

- <https://ieeexplore.ieee.org/>

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- <https://www.edaplayground.com/>
- <http://people.eecs.berkeley.edu/~alanmi/abc/>

Описание материально-технического обеспечения.

Для преподавания дисциплины требуется аудитория, оборудованная маркерной или меловой доской, экраном и проектором. Для выполнения практических домашних заданий студентами требуется компьютер с установленными на него пакетами автоматизации проектирования интегральных схем (в рамках курса предполагается использование только тех пакетов, которые предоставляются ВУЗ-ам без необходимости приобретать лицензию на их использование).

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.
9. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф.- м.н., доцент Шуплецов Михаил Сергеевич (shupletsov@cs.msu.ru)