

**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:	Математические основы систем автоматизированного проектирования сверхбольших интегральных схем
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: 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 составил: О.В. Венгер

Программа обсуждена на заседании кафедры микропроцессорных технологий в интеллектуальных системах
управления 20.04.2020

Аннотация

Курс «Математические основы систем автоматизации проектирования сверхбольших интегральных схем (САПР СБИС)» разработан с целью освоения студентами фундаментальных знаний в области математических моделей и методов, алгоритмов и структур данных, применяемых в системах автоматизации проектирования сверхбольших интегральных схем (СБИС). В результате освоения курса студент будет знать: современные тенденции развития микроэлектроники и принципы проектирования СБИС; основы формальной верификации СБИС; абстрактные модели алгоритмов и понятия алгоритмической сложности; основы теории графов и базовые алгоритмы на графах в САПР; математические модели и методы оптимизации в САПР СБИС. В качестве практических навыков студент научится применять математические модели и методы для решения задач автоматизации проектирования СБИС; использовать подходящие алгоритмы и структуры данных при программировании средств САПР.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

освоение студентами фундаментальных знаний в области математических моделей и методов, алгоритмов и структур данных, применяемых в системах автоматизации проектирования сверхбольших интегральных схем (СБИС).

Задачи дисциплины

- формирование общего представления о современных тенденциях развития микроэлектроники и проблемах автоматизации проектирования СБИС;
- формирование базовых знаний в области математических моделей и методов, алгоритмов и структур данных, применяемых в САПР;
- обучение студентов примерам практического применения математических моделей и методов для решения конкретных задач при проектировании 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-1.1 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:

- ☐ современные тенденции развития микроэлектроники и принципы проектирования СБИС;
- ☐ основы формальной верификации СБИС;
- ☐ абстрактные модели алгоритмов и понятия алгоритмической сложности;
- ☐ основы теории графов и базовые алгоритмы на графах в САПР;
- ☐ математические модели и методы оптимизации в САПР СБИС;
- ☐ базовые методы вычислительной геометрии.

уметь:

- ☐ эффективно применять математические модели и методы для решения задач автоматизации проектирования СБИС;
- ☐ эффективно использовать подходящие алгоритмы и структуры данных при программировании средств САПР.

владеть:

- ☐ математическим моделированием задач проектирования 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 САПР СБИС	3			2
2	Введение в формальную верификацию ЭУ	5			4
3	Основы теории графов. Алгоритмический подход	1			2
4	Кратчайшие пути на ориентированном графе	1			2
5	Математические модели и методы оптимизации в САПР СБИС	2			2
6	Абстрактные модели алгоритмов	2			2
7	Методы решения задач из NP-класса	2			2
8	Динамическое программирование	2			2
9	Жадный алгоритм	2			2
10	Метод ветвей и границ	2			2
11	Метод вектора спада	2			2
12	Применение методов вычислительной геометрии для представления и обработки геометрической информации	2			2
13	Некоторые задачи вычислительной геометрии	2			2
14	Диаграммы Вороного как универсальный инструмент решения ряда фундаментальных и прикладных задач	2			2

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: 8 (Весенний)

1. Введение в САПР СБИС

Тенденции развития микроэлектроники и принципы проектирования современных СБИС. Предмет и задачи автоматизации проектирования СБИС. Уровни, аспекты и этапы проектирования. Типовая схема нисходящего проектирования. Виды обеспечения САПР. Показатели эффективности САПР. Современные проблемы проектирования СБИС.

2. Введение в формальную верификацию ЭУ

Основные задачи и область применения формальной верификации. Темпоральная логика и основные алгоритмы верификации. Обзор решений, языков и путей оптимизации средств. Динамическая верификация. Современные тенденции в формальной верификации. Абстракция, аппаратная верификация. Способы представления графов (матрицы инцидентности и смежности, списки ребер, код Харари, списки инцидентности). Обходы графа (поиски в глубину и ширину). Кодировка деревьев. Плотность графа.

3. Основы теории графов. Алгоритмический подход

Фундаментальное множество циклов, алгоритм нахождения ФМН. Эйлеровы пути в графе. Алгоритм нахождения Эйлерова цикла. Понятие о Гамильтоновых путях. Планарность графа. Свойства плоских графов. Задача проверки изоморфизма. Гиперграфы. Способы представления гиперграфов и применение в САПР.

4. Кратчайшие пути на ориентированном графе

Общая идея алгоритмов, основанных на «релаксации» рёбер. Обобщённый алгоритм Беллмана-Форда-Мура, различные эвристики. Вычисление расстояний в бесконтурном графе, в графе с неотрицательными весами, в графе общего вида. Алгоритм Флойда. Задача одномерного сжатия топологии на графе ограничений.

5. Математические модели и методы оптимизации в САПР СБИС

Методы искусственного интеллекта. Задачи ИИ. Области применения ИИ. Методы представления задач. Формулировка задачи в замкнутой форме. Классификация задач по сложности. Линейные, полиномиальные и экспоненциальные алгоритмы. Примеры задач полиномиальной сложности.

6. Абстрактные модели алгоритмов

Детерминированная и недетерминированная машины Тьюринга. Примеры алгоритмов, описанных на ДМТ и НДМТ (раскраска географической карты). Примеры задач класса NP. NP-сложность и NP-полнота. Теорема Кука (формулировка). Отношения сводимости в классе NP-полных задач.

7. Методы решения задач из NP-класса

Метод перебора и необходимость ограничения перебора. Градиентные методы. Алгоритм A*. Примеры применения алгоритма A*.

8. Динамическое программирование

Пример решения задачи технологического мэппинга с помощью динамического программирования (алгоритм Кейтцера).

9. Жадный алгоритм

Матроиды. Пример построения связывающего дерева на графе с помощью алгоритма Крускала.

10. Метод ветвей и границ

Примеры решения задач линейного размещения и построения дерева Штейнера.

11. Метод вектора спада

Пример решения задачи коммивояжера. Моделирование отжига. Генетический алгоритм. Линейное программирование.

12. Применение методов вычислительной геометрии для представления и обработки геометрической информации

Определения, виды задач, общие методы решения. Базовые вычислительные приёмы: пересечение отрезков, локализация точки относительно прямой, повороты, сравнение углов и расстояний. Общие и специфические алгоритмические методы. Структуры данных вычислительной геометрии.

13. Некоторые задачи вычислительной геометрии

Геометрический поиск: задачи локализации и регионального поиска. Построение выпуклой оболочки и связанные задачи. Задачи о близости. Алгоритм сканирующей линии пересечения отрезков.

14. Диаграммы Вороного как универсальный инструмент решения ряда фундаментальных и прикладных задач

Классическая диаграмма Вороного и её обобщения. Решение задач о близости с помощью диаграммы Вороного. Методы построения диаграмм Вороного. Применение диаграмм Вороного в САПР.

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

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

Обеспечение самостоятельной работы: доступ к научным библиотекам.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. A.B. Kahng, J. Lienig, I.L. Markov, J. Hu. VLSI Physical Design: From Graph Partitioning to Timing Closure. Springer. 2011. – 310 p.
2. T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest. Introduction to algorithms, MIT Press, 2009. – 1312 p.
3. М. Ласло. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++: Пер. с англ. – М.: БИНОМ, 2007. – 304 с.

Дополнительная литература

1. S.Sutherland, S.Davidmann, P.Flake. SystemVerilog for Design. Springer, 2006. – 418 p.
2. S. Vijayaraghavan, M. Ramanathan. A Practical Guide for SystemVerilog Assertions. Springer. 2005. – 352 p.
3. T. Lengauer. Combinatorial algorithms for integrated circuit layout. Wiley, 1990. – 694 p.
4. Э.Рейнгольдт, Ю.Нивергельт, Н.Део. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика, М., Мир, 1980. – 476 с.
5. Ed. Breuer M.A. Design Automation of Digital Systems. Theory and Techniques. Volume 1 Prentice-Hall, 1972. – 420 p.

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

Информационные ресурсы: Журналы по проектированию СБИС и САПР, сборники тезисов док-ладов конференций (Микроэлектронные системы (МЭС), IEEE Computer Aided Design of Integrated Circuits, ACM Annual Conference on Computer Aided Design), доступные через Internet научные и научно-технические журналы (IEEE, ACM и др.), электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

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, презентации PowerPoint.

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

В ходе лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала и задавать преподавателю уточняющие вопросы, и участвовать в коллективных обсуждениях и решении примеров практических задач.

Самостоятельная работа включает в себя проработку конспектов лекционного материала, изучение рекомендованной литературы, подготовку к экзамену. Приветствуется более глубокое изучение некоторых тем с привлечением современных публикаций и материалов научных конференций в области САПР СБИС.

Проверка преподавателем усвоения материала обучающимися происходит как на лекционных занятиях, так и на заключительном экзамене.

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:	О.В. Венгер

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 «Математические основы систем автоматизированного проектирования сверхбольших интегральных схем» обучающийся должен:

знать:

- ☐ современные тенденции развития микроэлектроники и принципы проектирования СБИС;
- ☐ основы формальной верификации СБИС;
- ☐ абстрактные модели алгоритмов и понятия алгоритмической сложности;
- ☐ основы теории графов и базовые алгоритмы на графах в САПР;
- ☐ математические модели и методы оптимизации в САПР СБИС;
- ☐ базовые методы вычислительной геометрии.

уметь:

- ☐ эффективно применять математические модели и методы для решения задач автоматизации проектирования СБИС;
- ☐ эффективно использовать подходящие алгоритмы и структуры данных при программировании средств САПР.

владеть:

- ☐ математическим моделированием задач проектирования СБИС.

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 итогового экзамена:

1. Тенденции развития микроэлектроники и принципы проектирования современных СБИС. Предмет и задачи автоматизации проектирования СБИС. Уровни, аспекты и этапы проектирования.
2. Типовая схема нисходящего проектирования. Виды обеспечения САПР. Показатели эффективности САПР. Современные проблемы проектирования СБИС.
3. Основные задачи и область применения формальной верификации. Темпоральная логика и основные алгоритмы верификации.
4. Формальная верификация. Решения, языки и пути оптимизации средств. Динамическая верификация. Современные тенденции в формальной верификации. Абстракция, аппаратная верификация.
5. Способы представления графов (матрицы инцидентности и смежности, списки ребер, код Харари, списки инцидентности). Обходы графа (поиски в глубину и ширину). Кодировка деревьев. Плотность графа.
6. Фундаментальное множество циклов, алгоритм нахождения ФМН. Эйлеровы пути в графе. Алгоритм нахождения Эйлера цикла. Понятие о Гамильтоновых путях.
7. Общая идея алгоритмов, основанных на «релаксации» рёбер. Обобщённый алгоритм Беллмана-Форда-Мура, различные эвристики. Вычисление расстояний в бесконтурном графе, в графе с неотрицательными весами, в графе общего вида. Алгоритм Флойда.
8. Планарность графа. Свойства плоских графов. Задача проверки изоморфизма. Гиперграфы. Способы представления гиперграфов и применение в САПР. Задача одномерного сжатия топологии на графе ограничений.
9. Методы искусственного интеллекта. Задачи ИИ. Области применения ИИ. Методы представления задач. Формулировка задачи в замкнутой форме. Классификация задач по сложности. Линейные, полиномиальные и экспоненциальные алгоритмы. Примеры задач полиномиальной сложности.
10. Детерминированная и недетерминированная машины Тьюринга. Примеры алгоритмов, описанных на ДМТ и НДМТ (раскраска географической карты). Примеры задач класса NP. NP-сложность и NP-полнота. Теорема Кука (формулировка). Отношения сводимости в классе NP-полных задач.
11. Метод перебора и необходимость ограничения перебора. Градиентные методы. Алгоритм A*. Примеры применения алгоритма A*.
12. Динамическое программирование. Пример решения задачи технологического мэппинга с помощью динамического программирования (алгоритм Кейтцера).
13. Жадный алгоритм. Матроиды. Пример построения связывающего дерева на графе с помощью алгоритма Крускала.
14. Метод ветвей и границ. Примеры решения задач линейного размещения и построения дерева Штейнера.
15. Метод вектора спада. Пример решения задачи коммивояжера. Моделирование отжига.
16. Генетический алгоритм. Линейное программирование.
17. Определения вычислительной геометрии, виды задач, общие методы решения. Базовые вычислительные приёмы: пересечение отрезков, локализация точки относительно прямой, повороты, сравнение углов и расстояний.
18. Общие и специфические алгоритмические методы. Структуры данных вычислительной геометрии.
19. Геометрический поиск: задачи локализации и регионального поиска.
20. Построение выпуклой оболочки и связанные задачи.
21. Задачи о близости.
22. Алгоритм сканирующей линии пересечения отрезков. Сумма и разность Минковского.
23. Классическая диаграмма Вороного и её обобщения.
24. Решение задач о близости с помощью диаграммы Вороного.
25. Методы построения диаграмм Вороного.
26. Применение диаграмм Вороного в САПР.
27. Алгоритм сканирующей линии.

Примеры билетов для проведения экзамена:

Билет 1.

1. Тенденции развития микроэлектроники и принципы проектирования современных СБИС. Предмет и задачи автоматизации проектирования СБИС. Уровни, аспекты и этапы проектирования.
2. Алгоритм сканирующей линии.
3. Решение задач о близости с помощью диаграммы Вороного.

Билет 2.

1. Типовая схема нисходящего проектирования. Виды обеспечения САПР. Показатели эффективности САПР. Современные проблемы проектирования СБИС.
2. Применение диаграмм Вороного в САПР.
3. Классическая диаграмма Вороного и её обобщения.

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

Итоговый экзамен проводится в устной форме.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 астрономический час на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене проводится в течение не более 2-х астрономических часов.

Экзаменационный билет включает в себя 2-3 контрольных вопроса по тематике лекций. Дополнительные задания могут включать практические задачи и примеры практического использования теоретических знаний.

Во время проведения экзамен обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.