

**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:	Технологии и методы в САПР микроэлектроники
по направлению:	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль подготовки:	Телекоммуникационные сети и системы Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: И.Н. Бычков, д-р техн. наук

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФРКТ 08.11.2024

Аннотация

В курсе рассматриваются успешные примеры конструкторско-технологического проектирования современной вычислительной техники. Приводится анализ основных тенденций развития средств автоматизации проектирования СБИС. Рассматриваются средства совместного проектирования СБИС и модулей на их основе. Особое внимание уделяется основным алгоритмам и методам автоматизированного проектирования.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

– ознакомление студентов с планами и прогнозами развития технологий изготовления и сборки электронных компонент, освоение базовых знаний в области конструкторско-технологического проектирования микроэлектроники и вычислительных систем, а также алгоритмов и методов автоматизации проектирования для микроэлектроники.

Задачи дисциплины

Задачами данного курса является формирование знаний и проектных навыков в области:

- применения различных современных стандартов конструкций полупроводниковых приборов и вычислительных систем общего и специального назначения, принципов компоновки модулей, размещения элементов и топологии соединений.
- современных и перспективных технологий сборки микросхем, методов совместного проектирования кристалла, корпуса СБИС (сверхбольших интегральных схем) и вычислительного модуля при высокой плотности трасс (HDI).
- методов определения показателей надежности элементной базы и вычислительных модулей на ее основе с учетом современных российских и международных стандартов.
- основных алгоритмов и методов современных средств автоматизации проектирования для выполнения разработки вычислительных модулей.
- основных алгоритмов и методов в основе средств автоматизации проектирования СБИС
- выполнения этапов проектирования сложно-функциональных СБИС и модулей на их основе, методов термомеханического и электромагнитного моделирования, инженерных расчетов.
- методов наладки и проведения испытаний, диагностики дефектов и причин отказов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях
	ОПК-2.3 Владеет передовым отечественным и зарубежным опытом исследования современных инфокоммуникационных систем

ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.2 Способен системно анализировать полученную информацию, использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки и техники
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и (или) участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- тенденции развития современных полупроводниковых технологий и средств автоматизации проектирования СБИС;
- тенденции развития технологий сборки микросхем;
- этапы проектирования СБИС и модулей на их основе, включая комплексную наладку, диагностику дефектов и причин отказов.
- основные алгоритмы и методы на этапах проектирования СБИС.

уметь:

- анализировать требования к проекту физического проектирования СБИС и учитывать технологические ограничения;
- анализировать и подготавливать форматы данных для этапов физического проектирования;
- проводить инженерные расчеты и обосновывать целесообразность принятых решений;
- оценивать сложность основных алгоритмов и их эффективность для автоматизированного проектирования.

владеть:

- одним из академических средств проектирования СБИС (синтез, размещение, трассировка);
- современными методами совместного проектирования кристалла, корпуса СБИС и вычислительного модуля;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы и использования информации из баз знаний в Интернет;
- практикой исследования и решения прикладных проектных задач.

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 интегральных схем.	4			1
2	Этапы проектирования СБИС.	4			1
3	Классификация и названия микросхем, виды корпусов.	4			1

4	Обзор языков описания аппаратуры.	2			1
5	Технологическое отображение.	2			1
6	Введение в физическое проектирование и планирование.	2			1
7	Задача деления схемы и размещения.	2			1
8	Трассировка на решетках.	2			1
9	Глобальная трассировка.	2			1
10	Канальная трассировка и трассировка для ПЛИС.	2			3
11	Анализ характеристик.	2			1
12	Корпусирование ИС.	2			2
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение в проектирование интегральных схем.

Тенденции в микроэлектронике. Заказные и полузаказные СБИС. Программируемые логические матрицы. Системы на кристалле (SoC). Этапы ОКР и документация. Интеллектуальная собственность на средства проектирования и разработанные решения.

2. Этапы проектирования СБИС.

Проектирование на уровне регистровых передач. Функциональная и временная верификация. Синтез и оптимизация. Планирование площади кристалла и учет мощности потребления. Проектирование топологии и изготовление.

3. Классификация и названия микросхем, виды корпусов.

Свойства микросхем и применение. Обзор компонент для вычислительной техники. Примеры документации на микросхемы. Анализ характеристик. Проектирование на уровне печатной платы (PCB design). Расчет временных диаграмм, потребляемой мощности, стыковка уровней напряжения. Этапы разработки функциональной и принципиальной схемы.

4. Обзор языков описания аппаратуры.

Тестовое покрытие. Структурные, поведенческие и временные модели при проектировании цифровых устройств. Синтаксис языка Verilog. Синтезируемые и несинтезируемые конструкции языка. Математические основы логических оптимизаций. Двухуровневые логические оптимизации. Многоуровневые логические оптимизации. Автоматическая генерация тестовых наборов (ATPG). Временная верификация. Время распространения сигнала и критические пути.

5. Технологическое отображение.

Декомпозиция. Направленный ациклический граф. Алгоритмы поиска в ширину и глубину (BFS и DFS). Метод структурных совпадений и булевых совпадений для технологического отображения. Библиотеки компонентов. Функция стоимости. Проблема учета проводников при современных технологиях. Расчет рассеиваемой мощности, задержки и используемой площади при технологическом отображении.

6. Введение в физическое проектирование и планирование.

Способы проектирования топологии. Тенденции при физическом проектировании (применение ИИ). Определения и обозначения. Необходимые разделы из теории графов. Планирование топологии. Функции стоимости. Визуализация процесса разработки топологии. Компиляторы памяти. Система синхронизации.

7. Задача деления схемы и размещения.

Постановка задачи. Функция стоимости и ограничения. Алгоритм Kernigan-Lin и его вариации, эвристика Feduccia-Mattheyses, метод симуляции отжига, численные методы. Ограничения эвристики размещения с минимальным числом пересечений. Обзор различных подходов для решения задачи размещения: размещение для ПЛИС, генетические алгоритмы.

8. Трассировка на решетках.

Постановка задачи. Функция стоимости. Ограничения слоев металлизации, геометрические ограничения, ограничения от этапа размещения. Алгоритмы лабиринтной трассировки. Алгоритмы поиска линии. Подробности организации выполнения задачи трассировки

9. Глобальная трассировка.

Постановка задачи. Функция стоимости. Области трассировки и определения. Деревья Штейнера. Метод симуляции отжига для глобальной трассировки. Иерархическая глобальная трассировка

10. Канальная трассировка и трассировка для ПЛИС.

Постановка задачи. Функция стоимости и ограничения. Алгоритмы канальной трассировки. Трассировка в кристаллах ПЛИС

11. Анализ характеристик.

Введение. Сжатие и подготовка топологической информации. Алгоритмы и способы сжатия. Средства визуализации. Описание технологических форматов (OASIS, GDSII формат). Анализ частоты, потребляемой мощности и надежности до и после изготовления кристалла.

12. Корпусирование ИС.

Стек-дизайн, использование одного корпуса для нескольких кристаллов, расположение выводов кристалла в шахматном порядке. Алгоритмы для решения задачи назначения при корпусировании ИС.

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

- необходимое оборудование для лекций: компьютер и проектор;
- необходимое программное обеспечение: MS Office Power Point.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Поисковая адаптация: теория и практика [Текст], [монография]/В. М. Курейчик, Б. К. Лебедев, О. Б. Лебедев, -М., Физматлит, 2006

Рекомендуемая литература для самостоятельного изучения:

Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС [Текст] : в 2 ч. Ч.1/Г. Я.

Красников, Н. А. Зайцев, -М, Микрон-принт, 1999

Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС [Текст] : в 2 ч. Ч.2/Г. Я.

Красников, Н. А. Зайцев, -М, Микрон-принт, 1999

САПР и системы искусственного интеллекта на базе ЭВМ [Текст]/В. В. Куприянов, О. Ю.

Печенкин, М. Л. Суслов [и др.] , -М., Наука, 1991

000036436, Система автоматизированного проектирования приборов микроэлектроники (САПР микроэлектроники) [Текст]/Ш. Абдулаев , -Махачкала, Наука, 2011

Дополнительная литература

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

Scopus: база данных: <https://www.scopus.com/>

Материалы научно-технической конференции: <http://www.mes-conference.ru/>

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.

Сайт лаборатории средств проектирования в микроэлектронике www.vlsi.ru

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

Самостоятельная работа включает в себя: чтение и конспектирование рекомендованной литературы, просмотр интернет-ресурсов по тематике курса, подготовку к ответам на контрольные вопросы.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль подготовки: Телекоммуникационные сети и системы
Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий
центр образовательных программ ФРКТ
курс: 1
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: И.Н. Бычков, д-р техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
ОПК-2 Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.2 Владеет навыками реализации новых принципов и методов исследования в современных инфокоммуникационных системах и сетях
	ОПК-2.3 Владеет передовым отечественным и зарубежным опытом исследования современных инфокоммуникационных систем
ОПК-3 Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач своей профессиональной деятельности	ОПК-3.2 Способен системно анализировать полученную информацию, использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки и техники
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и (или) участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Технологии и методы в САПР микроэлектроники» обучающийся должен:

знать:

- тенденции развития современных полупроводниковых технологий и средств автоматизации проектирования СБИС;
- тенденции развития технологий сборки микросхем;
- этапы проектирования СБИС и модулей на их основе, включая комплексную наладку, диагностику дефектов и причин отказов.
- основные алгоритмы и методы на этапах проектирования СБИС.

уметь:

- анализировать требования к проекту физического проектирования СБИС и учитывать технологические ограничения;
- анализировать и подготавливать форматы данных для этапов физического проектирования;
- проводить инженерные расчеты и обосновывать целесообразность принятых решений;
- оценивать сложность основных алгоритмов и их эффективность для автоматизированного проектирования.

владеть:

- одним из академических средств проектирования СБИС (синтез, размещение, трассировка);
- современными методами совместного проектирования кристалла, корпуса СБИС и вычислительного модуля;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы и использования информации из баз знаний в Интернет;
- практикой исследования и решения прикладных проектных задач.

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

Перечень типовых вопросов:

1. Целевой импеданс распределенной сети питания процессора. Влияния конденсаторов на стабильность напряжения питания.
2. Нормы проектирования схем с высокой плотностью трасс (HDI) по отношению к нормам проектирования многослойных печатных плат и проводников верхних слоев кристалла СБИС.
3. Типы корпусов микросхем и их выводов.
4. Методы отжига при решении задач в САПР.
5. Методы эволюционного программирования при решении задач САПР.
6. Конфигурируемые логические блоки ПЛИС и соединения между ними.

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

1. Поколения интерфейсов ввода-вывода. Типы интерфейсов. Физическая реализация шин интерфейсов. Примеры.
2. Этапы выполнения ОКР, использование и оформление интеллектуальной собственности на IP блоки в составе СБИС.
3. Технологические ограничения на примерах многослойных печатных плат. Тестирование и изготовление проекта.
4. Основные этапы проектирования СБИС, включая подготовку к производству и тестирование.
5. Обзор языков описания аппаратуры. Комбинационная логика. Логические оптимизации. Автоматическая генерация тестов.
6. Физический синтез СБИС. Технологическое отображение и учет потребляемой мощности.
7. Планирование топологии проекта, включая критерии оптимизации и типичные алгоритмы реализации.
8. Размещение компонент с учетом технологических ограничений, включая критерии оптимизации и типичные алгоритмы реализации.
9. Глобальная трассировка соединений проекта с учетом технологических ограничений, включая критерии оптимизации и типичные алгоритмы реализации.
10. Детальная трассировка соединений проекта, включая критерии оптимизации и типичные алгоритмы реализации.
11. Методы тестирования СБИС. Тесты на этапах проектирования.
12. Методы анализа партий микросхем, применение стендов для тестирования и разбраковки.
13. Корпусирование СБИС с учетом ограничений, включая тенденции развития конструкторско-технологических решений.
14. Форматы для передачи топологической информации.

Критерии оценивания

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.

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.

8 Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

Дифференцированный зачёт проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет проводится в устной форме с решением задач по билетам с последующим обсуждением.