

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ А.А. Воронов
« _____ » _____ 2023 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине: Технологии и методы в САПР микроэлектроники
по направлению: 03.03.01 Прикладные математика и физика
профиль подготовки: _____
Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий
Кафедра радиоэлектроники и прикладной информатики
курс: 5 (магистратура)
квалификация: магистр, специалист
семестр, формы промежуточной аттестации: 10 (весенний) – диф. зачет
Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:
лекции: 30 час.
семинары: 0 час;
лабораторные занятия: 0 час
самостоятельная работа: 15 час
подготовка к экзамену: 0 час.
Всего часов 45, всего зач.ед.: 1
Количество контрольных работ, заданий 2 зачетных ед.

Программу составил: Бычков Игнат Николаевич

Программа обсуждена на заседании кафедры « _____ » _____ 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой «Радиоэлектроники
и прикладной информатики» ФРКТ

Ю.И. Борисов

Начальник учебного управления

И.Р.Гарайшина

Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий

Д.А. Гаврилов

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.

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина относится к вариативной части образовательной программы

Дисциплина базируется на

Базовых знаниях твердотельной электроники (полупроводниковых приборах), дискретной математики, общего и общесистемного программного обеспечения.

Дисциплина предшествует изучению дисциплины

Проектирование заказных интегральных схем

1.Цели и задачи

Цель курса – 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.

Задачами данного курса 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

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-	ОПК-1.1. Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области фи-

математических наук	зико-математических наук
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3. Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2. Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
ПК-5 Способность разрабатывать технические проекты работ в области современных наукоемких технологий с учётом требований качества и оптимизации	ПК-5.3. Использует нормативную документацию для стандартизации принятых решений и унификации разработанных изделий
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.4. Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия

3.Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В разделе приводится комплекс знаний, умений и навыков, который в результате освоения дисциплины (модуля) формируется у обучающихся.

Освоение дисциплины «Технологии и методы в САПР микроэлектроники» направлено на формирование следующих общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций магистра:

- способность к синтетическому мышлению, анализу, синтезу;
- способность использовать на практике углублённые знания, полученные в области естественных и технических наук, владении научным мировоззрением;
- способность ставить, формировать и решать задачи, уметь системно анализировать научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новые знания;
- способность профессионально работать с исследовательскими средствами проектирования и верификации полупроводниковых приборов в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра.

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)

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоёмкость по видам учебных занятий

№	Тема дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу		
		Лекции	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
1	Введение в проектирование интегральных схем	4		1
2	Этапы проектирования СБИС	4		1
3	Классификация и названия микросхем, виды корпусов. Свойства микросхем и их применение.	4		1
4	Обзор языков описания аппаратуры. Тестовое покрытие.	2		1
5	Технологическое отображение	2		1
6	Введение в физическое проектирование	2		1

	вание. Планирование.			
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		1
11	Анализ характеристик. Сжатие и подготовка топологической информации.	2		3
12	Корпусирование ИС	2		2
Итого часов		30 часа		15 часов
Общая трудоёмкость		45 часов (1 зач.ед.)		

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

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 их 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 и 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. Сжатие топологической информации и анализ характеристик.

Введение. 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 и практических занятий: компьютер и проектор
- необходимое программное обеспечение: MS Office Power Point.

6.Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература

- U.Golze, VLSI Chip Design with the Hardware Description Language VERILOG: An Introduction Based on a Large RISC Processor Design, Springer, 2014
- A. Burg, A.Cjskun, M. Guthaus, S. Katkoori, R. Reis, VLSI-SoC: From Algorithms to Circuits and System-on-Chip Design, Springer, 2016

Дополнительная литература

- Sadiq M. Sait, Habib Youssef «VLSI Physical Design Automation Theory and Practice» World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 1999
- N. Sherwani, Algorithms for VLSI Physical Design Automation Third Edition, Kluwer Academic Publishers, 2002
- А. А. Липин, Системы автоматизированного проектирования: учеб. Пособие, Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2018. – 108 с.

я: учеб. пособие / А.А. Липин; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2018. – 108 с.

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

Интернет- ресурсы – количество позиций Интернет-ресурсов (если необходимо их наличие), рекомендуется не превышать 10 позиций, включая официальные сайты, содержащие учебно-методические материалы, Указывается адрес сайта и название расположенного на нем ресурса, например:

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 (модуля), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Приводится перечень используемого в образовательном процессе программного обеспечения, информационных систем, таких технологий, как организация взаимодействия с обучающимися посредством видеоконференцсвязи, скайпа, компьютерное тестирование, дистанционные занятия, вебинары, применение систем дистанционного обучения, например, система дистанционного обучения МФТИ <http://moodle.phystech.edu/> и т.д.

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.

Приложение, Фонд оценочных средств по дисциплине (модуля)

1.Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

Освоение дисциплины направлено на формирование у обучающегося следующих общекультурных (ОК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций.

2. Показатели оценивания компетенций:

В процессе изучения дисциплины обучающиеся выполняют несколько лабораторных работ, оцениваемые по 10-бальной шкале. Оценка по курсу формируется по результатам лабораторных работ.

3. Приводится перечень знаний, умений, навыков, которые должен демонстрировать обучающийся в результате освоения дисциплины (модуля):

Текущий контроль.

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачёта:

- 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) Планирования 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.

4. Промежуточный контроль.

Промежуточный контроль проводится в виде дифференциального зачета. 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.

Критерии оценивания

Оценка	Баллы	Критерии
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

Самостоятельная работа включает в себя чтение рекомендованной литературы, решение типовых задач, подготовка ответов на контрольные вопросы, ознакомление ресурсами сети «Интернет» по тематике курса.

Программу составил:

« _____ » _____ 2023 г.