

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		<b>45 часов (1 зач.ед.)</b>		

#### 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](http://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.