

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР



А.Г. Балашов

« 7 » сентября 2022

ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Проектирование элементов СБИС и СнК»

Москва – 2022

1. Цель реализации программы

Формирование специальных знаний в области использования средств проектирования элементов СБИС и СнК, которые позволят понимать возможности и особенности разработки базовых элементов СБИС в глубоко-субмикронных технологических процессах.

2. Характеристика профессиональной деятельности и (или) квалификации

Область профессиональной деятельности: сквозная деятельность по разработке и проектированию компонентной базы СБИС и СнК

Вид экономической деятельности: деятельность в области информации и связи

Укрупненная группа специальностей: 11.00.00

3. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – проектирование и исследование элементов СБИС и СнК на основе современных технологий средствами САПР.

В результате освоения данной программы слушатель будет:

Знать:

- особенности использования аппаратной архитектуры и спектр программного обеспечения для сокращения временных и трудовых ресурсов при выполнении профессиональных функций в области радиоэлектронной промышленности;
- синтаксис скриптовых языков программирования (например, BASH, AWK, SED и/или аналогов) для автоматизации профессиональной деятельности;
- обобщенный маршрут проектирования с использованием современных средств САПР и средств проектирования.

- маршруты и методологию проектирования СБИС;
- программные средства САПР SYNOPSIS;
- особенности проектирования цифровых библиотек стандартных ячеек;
- основные тенденции, задачи и методы научных исследований в области проектирования и конструирования систем на кристалле информационно-измерительными комплексами

Уметь:

- составлять управляющие конструкции (условные / циклические) на скриптовых языках программирования BASH, AWK и SED на основе блок-схемы программы;
- анализировать библиотеки стандартных ячеек и ячеек ввода вывода, требования с учетом особенностей глубоко-субмикронных технологических процессов;
- пользоваться инструментами САПР для проектирования СБИС;
- использовать современные информационно-измерительные комплексы для научных исследований в области проектирования и конструирования систем на кристалле.

Иметь практический опыт:

- по управлению массивами данных в процессе поиска, фильтрации, сортировки объектов, в также приобрести навыки программирования на скриптовых языках для полной или частичной автоматизации организации и проведения научных исследований;
- проектирования элементов СБИС различного назначения с использованием программных средств;
- владения информационно-измерительными комплексами как средствами повышения точности и снижения затрат исследования.

4. Содержание программы
Учебный план
программы повышения квалификации
«Проектирование элементов СБИС и СнК»

Категория слушателей – сотрудники профильных предприятий, студенты магистратуры по УГН 09.00.00, 10.00.00, 11.00.00, лица имеющие высшее образование

Срок обучения – 145 часов

Форма обучения: очная / очно-заочная / очно-заочная с применением ЭО/ДОТ

№ п/п	Наименование разделов / модулей	Всего, час	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические и лабораторные занятия		
1.	ИТ-инфраструктура САПР	32	16	16	0	ЭО/ДОТ
2.	Основы проектирования элементов СБИС и СнК средствами САПР	48	16	32		ЭО/ДОТ
3.	Проектирование и характеристика библиотечных элементов	32			32	ЭО/ДОТ
4.	Аналитические методы исследования элементов СБИС и СнК	32		8	24	ЭО/ДОТ
5.	Итоговая аттестация	1	Диф. зачет			
	Всего	145	32	80	32	

**Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«Проектирование элементов СБИС и СнК»**

№ п/п	Наименование тем разделов / модулей	Всего , час	В том числе			Образова- тельные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самост оятельн ая работа	
			Лекци и	Практи ческие и лаборат орные занятия		
1.	ИТ-инфраструктура САПР	32	16	16	0	ЭО/ДОТ
1.1	Работа в командном интерпретаторе ОС Linux	16	8	8	0	ЭО/ДОТ
1.2	Программирование в ОС Linux	14	6	8	0	ЭО/ДОТ
1.3	Настройка пользовательского окружения в ОС	2	2	0	0	ЭО/ДОТ
2.	Основы проектирования элементов СБИС и СнК средствами САПР	48	16	32		ЭО/ДОТ
2.1	Этапы и маршруты проектирования СБИС, особенности отдельных этапов	8	4	4		ЭО/ДОТ
2.2	Инструменты САПР	34	10	24		ЭО/ДОТ
2.3	Особенности проектирования нанометровых СБИС	6	2	4		ЭО/ДОТ
3	Проектирование и характеристика библиотечных элементов	32			32	ЭО/ДОТ
4	Аналитические методы исследования элементов СБИС и СнК	32		8	24	ЭО/ДОТ
4.1	Методы исследования состава и структуры полупроводниковых приборов и контроля	8		2	6	ЭО/ДОТ

	электрофизических параметров микро- и нанoeлектронных структур					
4.2	Методы исследования, диагностики и контроля параметров тестовых структур и кристаллов СБИС и СнК при производстве	8		2	6	ЭО/ДОТ
4.3	Методы проведения квалификационных и периодических испытаний элементов в составе СБИС и СнК	16		4	12	ЭО/ДОТ
5.	Итоговая аттестация	1	Диф. зачет			
	Всего	145	32	80	32	

Календарный учебный график

Календарный учебный график составляется в форме расписания занятий при наборе группы и прилагается к программе повышения квалификации

Учебная программа

повышения квалификации

«Проектирование элементов СБИС и СнК»

Раздел 1. ИТ-инфраструктура САПР

Модуль 1.1. Работа в командном интерпретаторе ОС Linux (16 часов)

Тема 1.1. Введение в операционную систему Linux (история, архитектура, связь аппаратных компонентов и программного обеспечения, командный интерпретатор).

Тема 1.2. Назначение прав доступа на объекты файловой системы в Linux.

Тема 1.3. Поиск, фильтрация и сортировка данных в Linux.

Модуль 1.2. Программирование в ОС Linux (14 часов)

Тема 2.1. Программирование в командном интерпретаторе BASH.

Тема 2.2. Программирование с использованием потокового фильтра AWK.

Тема 2.3. Программирование с использованием потокового фильтра SED.

Модуль 1.3. Настройка пользовательского окружения в ОС Linux (2 часа)

Тема 3.1. Текстовые редакторы, рабочие столы, настройка переменных окружения в Linux.

Перечень лабораторных работ:

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.1.	Изучение команд командного интерпретатора BASH в ОС Linux	2
1.2.	Назначение прав доступа на объекты файловой системы в ОС Linux	2
1.3.	Поиск, фильтрация и сортировка данных в ОС Linux	2
1.4.	Архивирование данных и управление системными процессами в ОС Linux	2
2.1.	Программирование в командном интерпретаторе BASH	4
2.2.	Программирование с использованием потокового фильтра AWK	4

Раздел 2. Основы проектирования элементов СБИС и СнК средствами САПР

Модуль 1. Этапы и маршруты проектирования СБИС, особенности отдельных этапов

Тема 1.1. Маршруты проектирования. Маршруты проектирования аналоговых, цифровых, смешанных микросхем

Тема 1.2. Главные концепции проектирования полупроводниковых ИС. Особенности маршрута разработки библиотечных элементов

Модуль 2. Инструменты САПР

Тема 2.1. Общие сведения о САПР

Тема 2.2. Организация проектирования СБИС средствами САПР. Особенности проектирования на отдельных этапах.

Тема 2.3. Заказной маршрут проектирования. Методология создания интероперабельных PDK для средств разработки.

Тема 2.4. Средства заказного маршрута проектирования цифровых схем. Схемотехнический и топологический редакторы.

Тема 2.5. Средства заказного маршрута проектирования цифро-аналоговых схем. Программы проверки топологии и экстракции паразитных элементов

Модуль 3. Особенности проектирования нанометровых СБИС

Тема 3.1. Особенности синтеза и оптимизации нанометровых СБИС

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование и/или краткое содержание лабораторных работ	Кол-во часов
1.1	Описание электрической схемы на транзисторном уровне. Составление задания на моделирование. Особенности SPICE-подобного языка	4
2.2, 2.3	Исследование характеристик электрической схемы с применением средств САПР	4
2.4	Схемотехнический редактор. Разработка электрической схемы в формате OpenAccess. Составление задания для моделирования.	4
2.4	Топологический редактор. Разработка топологического описания в формате OpenAccess.	4
2.5	Верификация электрической схемы, экстракция паразитных параметров.	4
2.3	Посттопологическое моделирование электрической схемы на основе векторного формата входных воздействий.	4
3.1	Ускоренное моделирование SPICE описания электрической схемы с использованием FastSPICE симуляторов.	4
2.1, 3.1	Моделирование смешанного описания электрической схемы в программе FineSim.	4

Раздел 3. Проектирование и характеристика библиотечных элементов

Раздел, посвященный контролируемой самостоятельной работе по выполнению индивидуального практико-ориентированного задания (проектирование и характеристика библиотечного элемента ЦИС с использованием автоматизированного синтеза исходя из заданных требований).

Примерные темы индивидуального практико-ориентированного задания:

1. Исследование и разработка КМОП комбинационных цифровых ячеек: инвертора, буфера, сложного комбинационного вентиля.
2. Исследование и разработка последовательностных цифровых ячеек: статического КМОП синхронного D-триггера с асинхронным управлением сбросом/установкой.

Раздел 4. Аналитические методы исследования элементов СБИС и СнК

Перечень практических занятий

Номер модуля	Номер практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование или содержание занятия
1.	1	2	Изучение методов, применяемых для исследования состава и структуры полупроводниковых приборов и контроля электрофизических параметров микро- и нанoeлектронных структур, в т.ч: <ul style="list-style-type: none">• контроль качества структур, поверхностей, границ разделов и т.д.• контроль электрофизических параметров микроэлектронных структур и полупроводниковых приборов
2	2	2	Изучение методов, применяемых для диагностики и контроля параметров тестовых структур и кристаллов СБИС и СнК при производстве, в т.ч. : <ul style="list-style-type: none">• контроль в процессе производства пластин• контроль тестовых структур после изготовления пластин• контроль электрических параметров кристаллов изделий в составе пластины• контроль качества разделения пластины на кристаллы и корпусирования кристаллов

			<ul style="list-style-type: none"> • контроль электрических параметров и электротермотренировка
3	3-4	4	<p>Изучение методов, применяемых для проведения квалификационных и периодических испытаний для подтверждения качества производства СБИС и СнК, в т.ч.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • измерения электрических параметров микросхем • определения стойкости к электростатическому разряду • подтверждения предельно-допустимых и предельных режимом работы • испытания на стойкость к механическим воздействиям • испытания на кратковременную и долговременную безотказность

В рамках самостоятельной работы слушатели изучают открытые электронные курсы, представляют результаты тестирования и готовят рефераты.

Примерная тематика рефератов:

1. Зондовая микроскопия полупроводниковых наноструктур
2. Методы контроля и исследования параметров тестовых структур и кристаллов СБИС
3. Методы определения и исследования параметров схем памяти

Самостоятельная работа слушателей

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	6	Изучение электронного ресурса: Nanotechnology: A Maker's Course https://www.coursera.org/learn/nanotechnology#syllabus . Тестирование. Подготовка реферата.
2	6	Изучение электронного ресурса: Методы диагностики и анализа микро- и наносистем https://stepik.org/93997 Подготовка реферата.
3	12	Изучение электронного ресурса: Методы диагностики и анализа микро- и наносистем https://stepik.org/93997 . Тестирование. Защита реферата.

5. Материально-технические условия реализации программы

5.1 Очная форма обучения

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Мультимедийная аудитория	Лекции, практические	Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска ПО: Microsoft PowerPoint, Word; AdobeReader
Компьютерный класс	Лабораторные и самостоятельная работа	Оборудование: класс на 20 рабочих мест, мультимедийный проектор, доска ПО: OCLinux, OpenOffice, LT-Spice, Symica, САПР Synopsys, специализированные библиотеки

6. Учебно-методическое обеспечение программы

1. Ермак В.В., Козлов А.В., Савченко В.Ю. ОС LINUX для разработчиков и пользователей ПО САПР БИС: Учеб. пособие / Ермак В.В., Козлов А.В., Савченко В.Ю. ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2011. - 220 с.. - ISBN 978-5-7256-0615-7
2. Гагарина Л.Г., Петров А.А. Современные проблемы информатики и вычислительной техники: [Учеб. пособие] / Гагарина Л.Г., Петров А.А.. - М. : Форум : Инфра-М, 2011. - 368 с.. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-8199-0442-8; ISBN 978-5-16-004445-3
3. Казённов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. М.: БИНОМ: Лаборатория знаний. 2009 г. 296 с.
4. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника.- М.: Горячая линия – Телеком, 2005.- 768с.
5. А.Л. Стемповский, С.В. Гаврилов, А.Л. Глебов. «Методы логического и логико-временного анализа цифровых КМОП СБИС». 2007 г.
6. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне [Текст] / Б. П. Вонг [и др.]; Пер. с англ. К.В. Юдинцева, под ред. Н.А. Шелепина. - М. :Техносфера, 2014. - 432 с. - ISBN 978-5-94836-377-6 : 840-00, 1000 экз.
7. Харрис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. - 2-е изд. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 770 с. : ил. - ISBN 978-5-97060-450-2
8. Электронный ресурс: Методы диагностики и анализа микро- и наносистем <https://stepik.org/93997>
9. Электронный ресурс: Nanotechnology: A Maker's Course <https://www.coursera.org/learn/nanotechnology#syllabus>

7. Оценка качества освоения программы

Оценка качества освоения программы включает положительные результаты по освоению всех модулей учебного плана и итоговую аттестацию обучающихся в форме дифференцированного зачета, состоящего из двух частей:

1. Устный опрос для проверки знаний и умений. Перечень вопросов приведен в приложении 1.

Показатель оценки	Критерий оценивания достижения показателя	Условия начисления баллов по критерию	Количество баллов
Даны ответы на вопросы	Правильность формулировок, понятий и утверждений	Дан развёрнутый ответ на вопрос, приведены примеры использования	10
		Дан достаточно полный ответ на вопрос, приведены примеры использования	7
		Дан ответ на вопрос, примеры использования команд и операторов вызывают затруднения	3
		Ответа на вопрос нет	0
Суммарный балл по показателю за знания			0-10
Представлено решение практического задания и даны ответы на уточняющие вопросы	Правильность решения практического задания и уровень ответов на уточняющие вопросы	Правильное решение практического задания и ответы на уточняющие вопросы проблем не вызывают	10
		Правильное решение практического задания и наблюдаются затруднения при ответе на уточняющие вопросы	7
		Правильное решение практического задания и, но на уточняющие вопросы студент ответить затрудняется	3
		Неправильное решение практического задания и ответов на вопросы нет	0
Суммарный балл по показателю за умения			0-10

2. Задание на опыт деятельности

Опыт деятельности по компетенции проверяется с помощью выполнения индивидуального практико-ориентированного задания.

Пример типового проекта (индивидуального задания) на опыт деятельности:

Разработка элементов библиотек стандартных ячеек в системах автоматизированного проектирования (САПР). При выполнении необходимо продемонстрировать практические навыки в реализации поставленной задачи на схмотехническом уровне проектирования, а также опыт использования средств моделирования и верификации цифровых СБИС в рамках сквозного маршрута проектирования.

Необходимо разработать и провести характеристику библиотечных элементов (комбинационного и последовательностного) в базе технологической библиотеки 32/28 нм,

Подготовить отчет-презентацию с результатами проекта

Показатель оценки	Критерий оценивания достижения показателя	Условия начисления баллов по критерию	Количество баллов
Представлена схема, результаты моделирования и характеристики	Корректность схемы и результатов моделирования и характеристики	Схема и результаты моделирования и характеристики полностью корректны	20
		Схема и результаты моделирования и характеристики корректны, но есть неточности	10
		Схема и результаты моделирования и характеристики неправильно разработаны	0
Суммарный балл по показателю			0-20

Слушатель считается аттестованным и компетенция сформированной, если полностью выполнен учебный план и набрано не менее 20 баллов, в том числе:

- при устном ответе на 2 вопроса набрал не менее 10 баллов.

- при выполнении индивидуального практико-ориентированного задания на опыт деятельности набрал не менее 10 баллов.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 20	2
20-27	3
28-33	4
34-40	5

8. Составители программы

Доцент кафедры ПКИМС

А.А.Миндеева

Доцент кафедры ИЭМС

А.В.Козлов

Доцент кафедры ПКИМС

А.В.Коршунов

Доцент кафедры ПКИМС

Д.П.Фролов

Старший преподаватель
кафедры ПКИМС

П.С.Волобуев

Согласовано:

Директор ДРОП

Н.Ю. Соколова

Зав. кафедрой ПКИМС

С.В. Гаврилов

Вопросы на знания

1. Работа в командном интерпретаторе BASH ОС Linux (КТНИ_OS1);
2. Права доступа к объектам файловой системы в ОС Linux (КТНИ_OS2);
3. Поиск, фильтрация и сортировка данных в ОС Linux (КТНИ_OS3);
4. Системные процессы, архивирование и сжатие данных в ОС Linux (КТНUI_OS4);
5. Методы исследования элементной базы. Проектирование элементной базы КМОП СБИС.
6. Типовые проектные решения. Использование библиотек типовых проектных решений при проектировании цифровых СБИС.
7. Функционально - интегрированные элементы СБИС. Подходы к построению функционально - интегрированных элементов и блоков СБИС.
8. Назначение и классификация библиотек цифровых элементов. Библиотеки стандартных цифровых ячеек.
9. Маршруты проектирования цифровых СБИС в САПР с использованием библиотек.
10. Элементная база цифровых СБИС. Основные типы и виды базовых элементов.
11. Методы исследования элементной базы. Проектирование элементной базы КМОП СБИС.
12. Типовые проектные решения. Использование библиотек типовых проектных решений при проектировании цифровых СБИС.
13. Функционально - интегрированные элементы СБИС. Подходы к построению функционально - интегрированных элементов и блоков СБИС.
14. Назначение и классификация библиотек цифровых элементов. Библиотеки стандартных цифровых ячеек.
15. Маршруты проектирования цифровых СБИС в САПР Synopsys с использованием библиотек.
16. Схемотехнические модели МОП-транзисторов и макромоделей библиотечных элементов.
17. SPICE-модели МДП - структур. Система параметров моделей. Экстракция параметров моделей.
18. Структура SPICE-моделей BSIM3 и BSIM4 МДП - транзисторов. Система параметров моделей.

Задания на умения

1. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «инвертор». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель. Цепочки инверторов, кольцевой генератор.
2. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «И-НЕ» и «ИЛИ-НЕ». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель.
3. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «исключающее ИЛИ». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель.
4. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «мультиплексор». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель.
5. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «полусумматор». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель.
6. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «полный сумматор». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель.
7. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «триггер-защелка». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель.
8. Приведите электрическую схему и топологию КМОП библиотечного элемента «D-триггер». Назовите виды элементов, принципы работы, макромодель.
9. Объяснить механизм выбора ширины шины питания стандартных библиотечных элементов.