

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



И.Г.Игнатова

2021 г.

**ПРОГРАММА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ  
“ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ НАНОРАЗМЕРНЫХ СНК”**

Москва - 2021

## **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ**

### **1.1. Цель реализации программы**

Цель: формирование у слушателей профессиональных компетенций, необходимых для профессиональной деятельности в области разработки и проектирования микросхем аналогового и смешанного сигнала, а также “систем на кристалле” (СнК) с помощью специализированных программных средств и приобретения новой квалификации по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Программа разработана с учетом федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Минобрнауки России от 19 сентября 2017 г. №929.

Данное направление является смежным по отношению к направлению 11.04.04 “Электроника и нанoeлектроника” и позволяет закрыть недостающие компетенции в области специалиста по программным средствам моделирования и проектирования СнК в целом, по сравнению к специалистам в области проектирования приборов электроники и нанoeлектроники.

Целевые слушатели программы – студенты по направлению 11.04.04 “Электроника и нанoeлектроника”, а также иные слушатели, желающие приобрести компетенции в профессиональной области программы.

### **1.2. Характеристика нового вида профессиональной деятельности, новой квалификации**

Наименование нового вида деятельности: совокупность средств, способов и методов деятельности, направленных на теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, компонентов, электронных приборов микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения

Область профессиональной деятельности: 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности.

Объекты профессиональной деятельности: компоненты, электронные приборы, устройства, методы их исследования, проектирования и конструирования, математические модели, алгоритмы решения типовых задач, современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий микро - и нанoeлектроники.

Задачи профессиональной деятельности:

- анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников;
- проектирование микросхем аналогового и смешанного сигнала, а также “систем на кристалле” с учетом заданных требований;
- использование программных средств схемотехнического представления нанoeлектронных систем на кристалле в САПР Cadence;
- разработка топологического представления нанoeлектронных систем на кристалле в САПР Cadence;
- использование программных средств разработки функционально-логического представления цифровых блоков в САПР Cadence;

- разработка проектно-конструкторской документации в соответствии с методическими и нормативными требованиями;
- сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи;
- разработка математических моделей, компьютерное моделирование исследуемых микросхем аналогового и смешанного сигнала, а также “систем на кристалле”.

Квалификация: Специалист в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков систем на кристалле.

Вид экономической деятельности: Деятельность в области информации и связи.

Укрупненная группа специальностей: 11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи.

### **1.3. Требования к результатам освоения программы**

Планируемые результаты освоения программы: выпускник должен обладать компетенциями в следующих областях использования программных средств для проектирования систем-на-кристалле:

- программные средства схемотехнического представления наноэлектронных систем на кристалле в САПР Cadence;
- разработка топологического представления наноэлектронных систем на кристалле в САПР Cadence;
- программные средства разработки функционально-логического представления цифровых блоков в САПР Cadence;
- введение в проектирование аналоговых блоков СнК в САПР Cadence.

Компетенции определены на основании профессиональных стандартов:

- 40.040 Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков
- 40.016 Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалл
- 06.004 Специалист по тестированию в области информационных технологий

**Планируемые результаты освоения программы**

Код и формулировка компетенции	Трудовые функции, в соответствии с ПС		Индикаторы достижения компетенций
	Наименование	Код	
Способен использовать программные средства для схемотехнического моделирования и проектирования аналоговых и цифровых блоков наноразмерных СнК (ПК-1)	Разработка схемотехнических описаний блоков аналоговой части	40.016 E/04.7	Знания: Аналоговая схемотехника САПР аналогового проектирования и моделирования Умения: Разрабатывать аналоговые блоки, проводить моделирование аналоговых блоков средствами САПР Опыт деятельности: Разбиение аналоговых блоков на функциональные субблоки небольшого размера; разработка схемотехнических решений функциональных субблоков, создание символьных представлений; Разработка и описание тестовых окружений для аналоговых субблоков
	Моделирование и анализ результатов моделирования отдельных аналоговых блоков и аналоговой части в целом	40.016 E/05.7	Знания: Аналоговая схемотехника; САПР аналогового проектирования и моделирования Умения: Разрабатывать аналоговые блоки, Проводить моделирование аналоговых блоков средствами САПР Опыт деятельности: Временной анализ, анализ по постоянному и по переменному току, анализ шумов, анализ в температурном диапазоне, спектральный анализ; Статистический анализ и "анализ по углам" для определения правильности функционирования схемы при разбросе технологических параметров при изготовлении
	Разработка электрической принципиальной схемы СФ-блока	40.040 D/01.7	Знания: Основные принципы построения электрических схем простейших элементов. Умения: Использовать функциональные возможности и способы применения программных пакетов систем автоматизированного проектирования Проводить минимизацию логической функции. Проводить описание поведенческих моделей СФ-блоков Опыт деятельности: Интерактивная разработка электрической и/или логической схемы СФ-блока. Моделирование электрических схем СФ-

			блоков
	Определение основных статических и динамических характеристик СФ-блока	40.040 D/03.7	<p>Знания: Основные принципы построения электрических схем простейших элементов, основные принципы сквозного проектирования, языки поведенческого описания цифровых компонентов и логических функций</p> <p>Умения: Моделировать электрические схемы цифровых устройств, использовать функциональные возможности и способы применения программных пакетов систем автоматизированного проектирования, использовать техническую документацию и современные информационные технологии для решения поставленных задач</p> <p>Опыт деятельности: Разработка необходимых наборов тестов для верификации СФ-блоков, измерение основных статических характеристик СФ-блока, измерение основных динамических характеристик СФ-блока</p>
Способен разрабатывать топологическое представление наноэлектронных систем на кристалле в САПР Cadence (ПК-2)	Размещение стандартных ячеек и выполнение предварительной трассировки	40.016 D/02.7	<p>Знания: Основы системного проектирования микроэлектронных устройств на базе принципа модульности с цифровым микропроцессорным (компьютерным) управлением</p> <p>Умения: Выбирать и описывать модели электронной компонентной базы на различных этапах проектирования с учетом выбранного маршрута проектирования</p> <p>Опыт деятельности: Анализ первичного технического задания и определение состава СнК. Определение множества специальных математических, логических и других функций и операций, описывающих работу СнК. Разработка поведенческой высокоуровневой модели всей системы без учета временных характеристик средствами C#, SystemC, VHDL, Verilog</p>
	Осуществление предварительной экстракции	40.016 D/03.7	<p>Знания: Основные методы моделирования и физического макетирования, методы и особенности</p>

	паразитных параметров, проведение статического временного анализа		<p>процедуры экстракции</p> <p>Умения: Проводить физическое проектирование и верификацию средствами САПР, выполнять статический временной анализ</p> <p>Опыт деятельности: Процедура предварительной экстракции паразитных параметров СпК, статический временной анализ и вычисление задержек средствами САПР</p>
	Разработка топологических представлений отдельных аналоговых блоков и аналоговой части в целом	40.016 E/06.7	<p>Знания: Аналоговая схемотехника</p> <p>Маршрут проектирования, особенности проектирования топологии аналоговых устройств, САПР аналогового проектирования и моделирования</p> <p>Умения: Разрабатывать аналоговые блоки</p> <p>Пользоваться программными средствами топологического проектирования и моделирования</p> <p>Опыт деятельности: Разработка топологических чертежей отдельных аналоговых блоков в ручном режиме</p> <p>Разработка набора ограничений на конфигурации топологических представлений аналоговых субблоков</p>
	Выполнение верификации и моделирование топологического представления аналоговых блоков и аналоговой части в целом	40.016 E/07.7	<p>Знания: Особенности проектирования топологии аналоговых устройств</p> <p>САПР аналогового проектирования и моделирования</p> <p>Умения: Пользоваться программными средствами топологического моделирования и проектирования</p> <p>Проводить моделирование аналоговых блоков средствами САПР</p> <p>Опыт деятельности: Физическая и электрическая верификация топологических представлений блоков средствами САПР</p> <p>Экстракция паразитных параметров требуемого уровня детализации</p> <p>Построение списка соединений с учетом экстрагированных паразитных компонентов в формате SPICE</p>
Способен использовать программные средства для	Поведенческое описание СФ-блока	40.040 F/01.7	<p>Знания: Основные принципы построения электрических схем простейших элементов, Принципы сквозного проектирования, Языки поведенческого</p>

разработки функционально-логического представления цифровых блоков в САПР Cadence (ПК-3)			описания цифровых компонентов и логических функций Умения: Проводить описание моделей стандартных элементов на поведенческом языке, Использовать целевые системы автоматизированного проектирования, проектировать электрические схемы цифровых электронных устройств, реализующих требуемые логические функции Опыт деятельности: Разработка поведенческого описания модели СФ-блока, разработка тестовых воздействий для моделирования СФ-блока
	Функционально-логическое моделирование СФ-блока, проверка соответствия функционирования поведенческой модели СФ-блока и электрической схемы СФ-блока	40.040 F/02.7	Знания: Основные принципы построения электрических схем простейших элементов. Принципы сквозного проектирования. Языки поведенческого описания цифровых компонентов и логических функций Умения: Проводить описание моделей стандартных элементов на поведенческом языке, Использовать целевые системы автоматизированного проектирования Опыт деятельности: Функционально-логическое моделирование СФ-блока Сравнение результатов функционально-логического моделирования и схемотехнического моделирования Создание набора тестов, необходимых для полной проверки функционирования
	Разработка документов для тестирования и анализ качества покрытия	06.004 C/03.6	Знания: Определение цели и объекта тестирования. Составление плана тестирования. Выбор видов тестирования и их применения по отношению к объекту тестирования Умения: формулировать и структурировать полученную информацию. Оценивать важность различных тестов Опыт деятельности: модели тестирования, планирование тестирования, техники тестирования
Способен проектировать аналоговые	Проведение анализа технического	40.016 E/01.7	Знания: Принципы построения и функционирования аналоговых устройств Аналоговая схемотехника

блоки СнК в САПР Cadence (ПК-4)	задания на аналоговую часть, разработка архитектуры аналоговой подсистемы		Умения: Разрабатывать спецификацию аналоговых блоков Проектировать схемы аналогового и смешанного сигналов Опыт деятельности: Анализ аналогичных готовых решений и определение общего состава блоков аналоговой части СнК Определение необходимых уровней питающих, входных и выходных напряжений
	Проектировка поведенческой модели аналоговой части проекта для моделирования в составе всей системы в целом	40.016 Е/02.7	Знания: Языки поведенческого описания (Verilog-A(AMS), VHDL, Matlab) Методики аналогового моделирования Умения: Определять моделируемые характеристики аналоговых блоков Составлять спецификации аналоговых блоков, правильно оценивать возможности средства описания моделей и сопоставлять их с уровнем модели и спецификацией, Владеть средствами аналогового прототипирования высокого уровня Опыт деятельности: Выбор средства описания поведенческой модели Разработка высокоуровневой поведенческой модели блоков аналоговой части СнК Моделирование, отладка и верификация блоков аналоговой части СнК

#### 1.4. Требования к уровню подготовки поступающего на обучение, необходимому для освоения программы

Лица, желающие освоить дополнительную профессиональную программу, должны иметь высшее техническое образование по направлению подготовки 09.03.01, 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника», 11.03.04, 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»; 11.03.01, 11.04.01 «Радиотехника»; 11.03.02, 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»; 11.03.03, 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» и обладать квалификацией — бакалавр или магистр. Наличие указанного образования должно подтверждаться документом государственного или установленного образца.

#### 1.5. Трудоемкость обучения

Нормативная трудоемкость обучения по данной программе – 258 часов, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы слушателя.

#### 1.6 Форма обучения

Форма обучения – заочная, с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Окончательная форма обучения может устанавливаться при наборе группы слушателей и фиксируется в договорах с заказчиками на оказание образовательных услуг.

#### **1.7 Режим занятий**

Занятия проводятся без отрыва от работы.

При любой форме обучения учебная нагрузка устанавливается не более 54 часов в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы слушателя. Продолжительность одного часа занятий 45 минут.



### 3. РАБОЧИЕ ПРОГРАММЫ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН (МОДУЛЕЙ), ПРАКТИК И СТАЖИРОВОК

#### 3.1. Рабочая программа учебной дисциплины «Программные средства схемотехнического представления нанoeлектронных систем на кристалле в САПР Cadence»

##### 3.1.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины - формирование знаний в области проектирования современных полупроводниковых интегральных схем. Рассматриваются особенности структур интегральных полупроводниковых приборов и пассивных элементов, принципы работы основных схемотехнических базовых элементов; вопросы исследования характеристик схемотехнических элементов, определения параметров приборов.

##### 3.1.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

###### Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля):

Дисциплина (модуль) участвует в формировании компетенции: Способен использовать программные средства для схемотехнического моделирования и проектирования аналоговых и цифровых блоков наноразмерных СнК (ПК-1)

В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь:

**Знания:** параметры и характеристики стандартных цифровых элементов.

**Умения:** рассчитывать статические и динамические параметры цифрового элемента.

**Опыт деятельности:** проектирования элементов микро- и нанoeлектроники с использованием современных средств автоматизированного проектирования.

##### 3.1.3. Учебно-тематический план дисциплины

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	ЭО или ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ.Зан. час	Лаб.зан. час	
1	Схемотехническое моделирование интегральных элементов	6	2	-	2	2
2	Расчет статических и динамических характеристик цифрового элемента СнК	11	2	-	4	5
3	Расчет частотных характеристик аналогового элемента СнК	7	2	-	2	3
	Всего	24	6	-	8	10
Итоговая аттестация: зачет						

**3.1.4. Содержание дисциплины  
Перечень лекций**

Номер раздела и темы	Краткое содержание	Количество часов
1	Схемотехническое моделирование интегральных элементов	2
2	Расчет статических и динамических характеристик цифрового элемента СнК	2
3	Расчет частотных характеристик аналогового элемента СнК	2

**Практические занятия не предусмотрены**

**Перечень лабораторных работ**

Номер раздела и темы	Наименование лабораторного занятия	Количество часов
1	Исследование статических ВАХ МОПТ с индуцированным каналом	2
2	Исследование статических характеристик цифрового элемента.	2
2	Исследование динамических характеристик цифрового элемента.	2
3	Исследование частотных характеристик аналогового элемента.	2

**Самостоятельная работа слушателей**

№ модуля дисциплины	Объем работы (часы)	Вид СРС
1	2	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
2	5	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
3	3	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.

**3.1.5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

1. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 768 с.
2. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники / А.Г. Алексенко. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Лаборатория Базовых знаний. Физматлит : Юнимедиастилл, 2002. - 448 с.
3. Уэйкерли Д.Ф. Проектирование цифровых устройств : Пер. с англ. Т. 1 / Д.Ф. Уэйкерли. - М. : Постмаркет, 2002. - 544 с.
4. Уэйкерли Д.Ф. Проектирование цифровых устройств : Пер. с англ. Т. 2 / Д.Ф. Уэйкерли. - М. : Постмаркет, 2002. - 1088 с.

5. Шишина Л.Ю. Элементная база биполярных цифровых ИС: Конспект лекций по курсу "Элементная база БИС" / Л.Ю. Шишина. - М. : МИЭТ, 1998. - 116 с.

### 3.1.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место слушателя	лекции	компьютер с выходом в интернет, Zoom
Рабочее место слушателя	Лабораторные занятия, СРС	компьютер с выходом в интернет, Zoom, доступ к удаленному серверу с системой моделирования Cadence

### 3.1.7. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий

Оценка качества освоения теоретической части проводится с использованием тестирования в Moodle-ОРИОКС. Выполнение лабораторных работ оценивается представлением отчета по работе и/или тестирования после работы. Зачет по дисциплине ставится по результатам тестирования и выполнения/оформления отчета/тестирования по всем лабораторным работам.

## 3.2. Рабочая программа учебной дисциплины “Разработка топологического представления наноэлектронных систем на кристалле в САПР Cadence”

### 3.2.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины - формирование компетенций в области построения иерархической структуры цифровых устройств с использованием САПР Cadence, а также методов проектирования топологии систем на кристалле. Рассматриваются вопросы описания цифровых комбинационных и последовательностных схем на языке VERILOG; овладения методами автоматического логического синтеза логических схем из описания цифровых последовательностных схем; овладения методами синтеза топологии цифровых последовательностных схем; овладения навыками верификации цифровых устройств средствами Cadence.

### 3.2.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

#### Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)

Дисциплина (модуль) участвует в формировании компетенции: Способен разрабатывать топологическое представление наноэлектронных систем на кристалле в САПР Cadence (ПК-2)

#### В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь:

**Знания:** маршрута проектирования цифровых схем средствами CADENCE; маршрута топологического проектирования и верификации аналоговых блоков; особенности проектирования контактных площадок; особенности финализации проекта.

**Умения:** синтезировать цифровые устройства; пользоваться программными средствами топологического моделирования и проектирования.

**Опыт деятельности:** по проведению функционально-логического моделирования; по интеграции топологических представлений отдельных аналоговых блоков в состав топологии СнК и финализации проекта.

### 3.2.3. Учебно-тематический план дисциплины

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	ЭО или ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ.Зан. час	Лаб.зан. час	
1.	Разработка и моделирование RTL описаний комбинационных и последовательностных схем	15	2	-	8	5
2.	Синтез логической схемы из RTL описаний комбинационных и последовательностных схем	11	2	-	4	5
3.	Синтез топологии комбинационных и последовательностных схем	18	4	-	4	10
4.	Проектирование топологии СнК	34	16	-	8	10
	Всего	78	24	-	24	30
Итоговая аттестация: зачет						

**3.2.4. Содержание дисциплины  
Перечень лекций**

<b>Номер раздела и темы</b>	<b>Краткое содержание</b>	<b>Количество часов</b>
1	Введение в проектирование цифровых устройств, классические маршруты.	1
1	Командный интерпретатор TCL	1
2	Конечные автоматы, виды, примеры поведенческого описания.	2
3	Синтез логических схем из поведенческого описания	1
3	Синтез топологии цифрового устройства	1
3	Завершающие этапы проектирования цифрового устройства	1
3	Тестирование схем сканирующие цепочки.	1
4	Основы работы с редактором топологии Cadence Virtuoso Layout Suite XL. Структура PDK. Топологические представления основных приборов.	1
4	Особенности проектирования топологии биполярных транзисторов, диодов, охранных колец, изолированных приборов.	1
4	Маршрут проектирования топологии. Система на кристалле и система в корпусе.	2
4	Классификация и конфигурации контактных площадок.	1
4	Различные виды контактных площадок: с ESD-защитой, clamp, СВЧ, для цифровых выводов. Электрические схемы и топологии.	1
4	Площадь кристалла. Принципы расположения контактных площадок.	2
4	Метки на кристалле. SealRing.	1
4	Способы заполнения пустот на кристалле.	1
4	Этапы финализации проекта.	1
4	Создание специальных меток и областей.	1
4	Роль «филлеров» (фиктивных областей). Написание скриптов.	1
4	Особенности генерации фиктивных областей с помощью инструмента PVS.	1
4	Подготовка данных для отправки на производство. GDS-файл.	1
4	Зачётное занятие. Подведение итогов.	1

**Практические занятия  
не предусмотрены**

### Перечень лабораторных занятий

Номер раздела и темы	Наименование лабораторного занятия	Количество часов
1	Разработка и моделирование RTL описаний комбинационных схем	4
1	Разработка и моделирование RTL описаний последовательных схем	4
2	Синтез логической схемы из RTL описаний комбинационных схем	2
2	Синтез логической схемы из RTL описаний последовательных схем	2
3	Синтез топологии комбинационных схем	2
3	Синтез топологии последовательных схем. Выполнение комплексного задания	2
4	Проектирование контактных площадок со специальной защитой.	2
4	Проектирование рамки с контактными площадками и шинами питания и земли.	2
4	Совмещение рамки с топологией готового СФ-блока.	2
4	Генерация фиктивных областей. Создание файла GDS.	2

### Самостоятельная работа слушателей

№ модуля дисциплины	Объем работы (часы)	Вид СРС
1	5	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
2	5	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
3	10	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
4	10	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.

### 3.2.5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт : Высшее образование, 2009. - 463 с.
2. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем: Краткий справочник разработчика / В.И. Эннс, Ю.М. Кобзев. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 454 с.
3. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне / Б.П. Вонг, А. Миттал, Ю. Цао, Г. Старр; Пер. с англ. К.В. Юдинцева, под ред. Н.А. Шелепина. - М. : Техносфера, 2014. - 432 с. - ISBN 978-5-94836-377-6
4. Миндеева А.А. Интерактивное проектирование ИС интегрированными средствами

системы Cadence : Учеб. пособие – М.: МИЭТ, 2008. – 208 с. - ISBN 978-5-7256-0509-9

### 3.2.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место слушателя	лекции	компьютер с выходом в интернет, Zoom
Рабочее место слушателя	Лабораторные занятия, СРС	компьютер с выходом в интернет, Zoom, доступ к удаленному серверу с системой моделирования SentaurusTCAD

### 3.2.7. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий

Оценка качества освоения теоретической части проводится с использованием тестирования в Moodle-ОРИОКС. Выполнение лабораторных работ оценивается представлением отчета по работе и/или тестирования после работы. Зачет по дисциплине ставится по результатам тестирования и выполнения/оформления отчета/тестирования по всем лабораторным работам.

### 3.3. Рабочая программа учебной дисциплины «Программные средства разработки функционально-логического представления цифровых блоков в САПР Cadence»

#### 3.3.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины - формирование компетенций в области поведенческого описания функционирования цифровых устройств, а также навыков проектирования библиотечных элементов для синтеза схем и топологии ЦИС современными средствами разработки. Изучается маршрут проектирования цифровых схем; основы проектирования цифровых схем с помощью современных средств разработки.

#### 3.3.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

##### Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)

Дисциплина (модуль) участвует в формировании компетенции:

Способен использовать программные средства для разработки функционально-логического представления цифровых блоков в САПР Cadence (ПК-3).

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь:**

**Знания:** маршрута проектирования цифровых схем, синтаксиса языка описания аппаратуры, принципов построения поведенческой модели, электрической схемы и топологии логического элемента.

**Умения:** выполнять описание поведенческой модели, разработку электрической схемы и топологии логического элемента, анализировать результаты моделирования.

**Опыт деятельности:** по подготовке технических заданий на проектирование стандартных элементов цифровых интегральных схем.

#### 3.3.3. Учебно-тематический план дисциплины

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	ЭО или ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ.Зан. час	Лаб.зан. час	
1.	Основы проектирования стандартных элементов библиотеки	24	6	-	8	10
2	Введение в язык поведенческого описания VERILOG схем.	15	6	-	4	5
3	Синтез логических схем, из поведенческого описания с использованием библиотеки стандартных элементов	13	4	-	4	5
	Всего	52	16	-	16	20
Итоговая аттестация: зачет						

**3.3.4. Содержание дисциплины**  
**Перечень лекций**

<b>Номер раздела и темы</b>	<b>Краткое содержание</b>	<b>Количество часов</b>
1	Классический маршрут проектирования цифровых интегральных схем, с использованием стандартных ячеек, классификации интегральных схем, ПЛИС, БМК.	1
1	Основные характеристики стандартных элементов, способы измерения, моделирование.	1
1	Примеры электрических схем стандартных элементов, способы их тестирования.	1
1	Топологические нормы, назначение	1
1	Примеры топологии библиотечных элементов.	1
1	Особенности топологического проектирование с проектными нормами 90 - 65 нм	1
2	Ведение в VERILOG, Маршрут проектирования, Формат VERILOG модуля, Алфавит, операторы	1
2	Уровни абстракции при поведенческом описании схем, примеры	1
2	Типы данных, конструкции assign always, блокирующее и не блокирующее присвоение	1
2	Конструкции if, case; Циклы	1
2	Примеры описаний библиотечных элементов	1
2	Тестирование, написание файлов TESTBENCH	1
3	Назначение и синтаксис файла LIB	1
3	Примеры проведения экстраполяции временных параметров схемы с использование LIB файла	1
3	Назначение и синтаксис файла LEF	1
3	Назначение и синтаксис файла SDF	1

**Практические занятия**  
не предусмотрены

**Перечень лабораторных работ**

<b>Номер раздела и темы</b>	<b>Наименование лабораторного занятия</b>	<b>Количество часов</b>
1	Схемотехническое проектирование логических вентиляей. Характеризация.	2
1	Схемотехническое проектирование триггера. Характеризация.	2
1	Топологическое проектирование логических вентиляей. Экстракция и характеризация.	2

1	Топологическое проектирование триггера. Экстракция и характеристика.	2
2	Разработка VERILOG моделей логических вентилях и триггеров.	2
2	Создание VERILOG NETLIST счетчика.	2
3	Смешанное моделирование VERILOG NETLIST счетчика.	2
3	Выполнение комплексного задания.	2

#### Самостоятельная работа слушателей

№ модуля дисциплины	Объем работы (часы)	Вид СРС
1	10	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
2	5	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
3	5	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.

#### 3.3.5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт : Высшее образование, 2009. - 463 с.
2. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники / А.Г. Алексенко. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Лаборатория Базовых знаний. Физматлит : Юнимедиастайл, 2002. - 448 с.
3. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем : Краткий справочник разработчика / В.И. Эннс, Ю.М. Кобзев. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 454 с.  
Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника: Учеб. пособие / - 3-е изд. - СПб. : БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.
4. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой / Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб. : БХВ-Петербург, 2006. - 736 с.
5. Лабораторный практикум по курсу "Компьютерное моделирование интегральных приборов" / Е.А. Артамонова [и др.]; Под ред. Т.Ю. Крупкиной. - М. : МИЭТ, 2007. - 108 с.

#### 3.3.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место слушателя	лекции	компьютер с выходом в интернет, Zoom
Рабочее место слушателя	Лабораторные занятия, СРС	компьютер с выходом в интернет, Zoom, доступ к удаленному серверу с системой моделирования Cadence

### **3.3.7. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий**

Оценка качества освоения теоретической части проводится с использованием тестирования в Moodle-ОРИОКС. Выполнение лабораторных работ оценивается представлением отчета по работе и/или тестирования после работы. Зачет по дисциплине ставится по результатам тестирования и выполнения/оформления отчета/тестирования по всем лабораторным работам.

### 3.4. Рабочая программа учебной дисциплины «Введение в проектирование аналоговых блоков СнК в САПР Cadence»

#### 3.4.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель дисциплины - формирование компетенций в области проектирования низкочастотных аналоговых интегральных схем с учетом заданных требований. Рассматриваются вопросы учета влияния технологических и топологических параметров структуры транзисторов на параметры эквивалентных схем активных интегральных приборов; принципы работы основных схемотехнических базовых элементов; формирование навыков схемотехнического проектирования по заданным параметрам с использованием автоматизированных программных средств моделирования; изучения методов малосигнального анализа схем выполненных на биполярных и МДП-транзисторах.

#### 3.4.2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины (модуля)

##### Планируемые результаты освоения программы:

Дисциплина (модуль) участвует в формировании компетенций: Способен проектировать аналоговые блоки СнК в САПР Cadence (ПК-4)

##### В результате изучения дисциплины обучающийся должен иметь:

**Знания:** маршрута топологического проектирования и верификации аналоговых блоков; особенностей проектирования контактных площадок; особенностей финализации проекта.

**Умения:** пользоваться программными средствами топологического моделирования и проектирования.

**Опыт деятельности:** по интеграции топологических представлений отдельных аналоговых блоков в состав топологии СнК и финализации проекта.

#### 3.4.3. Учебно-тематический план дисциплины

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	ЭО или ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ.Зан. час	Лаб.зан. час	
1.	Проектирование элементов низкочастотных аналоговых интегральных схем с учетом заданных требований	26	8	-	8	10
2	Проектирование и моделирование аналоговых блоков СнК в САПР Cadence	18	2	-	6	10
	Всего	44	10	-	14	20
Итоговая аттестация: зачет						

**3.4.4. Содержание дисциплины  
Перечень лекций**

<b>Номер раздела и темы</b>	<b>Краткое содержание</b>	<b>Количество во часов</b>
1	Малосигнальные эквивалентные схемы полевого транзистора, схемы включения с общим истоком, общим стоком и общим затвором.	1
1	Интегральные транзисторы. Дифференциальные проводимости, малосигнальные эквивалентные схемы биполярного транзистора.	1
1	Элементарные усилительные каскады, схемы включения с общим эмиттером, общим коллектором, общей базой.	1
1	Интегральные источники тока. Токовые зеркала, методы температурной стабилизации источников постоянного тока	1
1	Дифференциальные усилители. Особенности и основные характеристики дифференциальных усилителей.	1
1	Дифференциальные усилители. Теорема бисекции. ДУ на КМДП- транзисторах	1
1	Операционные усилители. Основные определения. Операционные усилители. Способы включения.	1
1	Операционные усилители. Методы проектирования. Структурная схема. Расчет основных характеристик. Примеры выполнения операционных усилителей	1
2	Искажения сигналов и шумы в современных БИС. Особенности проектирования аналоговых СФ-блоков. Синхронизация и связность сигналов в СНК, элементы подсистем синхронизации для СФ-блоков.	1
2	Моделирование аналого-цифровых систем с использованием языка Verilog-A. Защита микросхем от электростатического разряда и оптимизация элементов защиты ИМС от электростатического разряда. Тепловые процессы в интегральных микросхемах.	1

**Практические занятия  
не предусмотрены**

**Перечень лабораторных работ**

<b>Номер раздела и темы</b>	<b>Наименование лабораторного занятия</b>	<b>Количество часов</b>
1	Исследование дифференциальных каскадов на МДП транзисторах	2
1	Исследование статических и динамических характеристик операционного усилителя	2

1	Исследование источников тока и их основных характеристик	2
1	Исследование источников напряжения и их основных характеристик	2
2	Изучение особенностей проектирования аналоговых блоков в составе аналогово-цифровых устройств с минимальными размерами элементов до 90 нм. Разработка и моделирование нанометрового аналогового блока в программе Spectre. Статистический анализ. Характеризация моделей.	2
2	Освоение методов аналого–цифрового моделирования смешанных устройств с минимальными размерами элементов до 90 нм. Разработка поведенческой модели аналого-цифровой нанометровой системы на кристалле с использованием языков Verilog – А и Verilog HDL.	2
2	Изучение основных операций физического проектирования цифровых и аналоговых блоков СНК с минимальными размерами элементов до 90 нм. Синтез топологии нанометрового цифрового блока. Прогноз выхода годных. Распределение блоков по уровням ограничений. Функциональная и физическая верификация проекта.	2

#### Самостоятельная работа слушателей

№ модуля дисциплины	Объем работы (часы)	Вид СРС
1	10	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.
2	10	Освоение теоретического материала. Подготовка к лабораторным работам.

#### 3.4.5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств : [Учеб. пособие] / Г.И. Волович. - 3-е изд. - М. : ДОДЭКА-XXI, 2011. - 528 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/61027> (дата обращения: 14.12.2020). - ISBN 978-5-94120-254-6
2. Миндеева А.А. Элементная база аналоговых схем : Учеб. пособие / А.А. Миндеева; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2012. – 184 с.
3. Шишина Л.Ю. Элементная база биполярных цифровых ИС : Конспект лекций по курсу "Элементная база БИС" / Л.Ю. Шишина. - М. : МИЭТ, 1998. - 116 с.
4. Основы топологического проектирования интегральных микросхем : Учеб. пособие / В.В. Баринов [и др.]; Под ред. В.Ф. Онацько. - М. : МИЭТ, 1994. - 120 с.
5. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем [Текст] : Краткий справочник разработчика / В.И. Эннс, Ю.М. Кобзев. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. -

454 с.

6. Титце У. (Tietze U.). Полупроводниковая схемотехника = Halbleiter-Schaltungstechnik : [В 2 т.] : Пер. с нем. Т. 1 / У. Титце, К. Шенк. - М. : ДМК Пресс : ДОДЭКА-XXI, 2008. - 832 с.
7. Титце У. (Tietze U.). Полупроводниковая схемотехника = Halbleiter-Schaltungstechnik : [В 2 т.] : Пер. с нем. Т. 2 / У. Титце, К. Шенк. - М. : ДМК Пресс : ДОДЭКА-XXI, 2008. - 944 с.

#### 3.4.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Рабочее место слушателя	лекции	компьютер с выходом в интернет, Zoom
Рабочее место слушателя	Лабораторные занятия, СРС	компьютер с выходом в интернет, Zoom, доступ к удаленному серверу с системой моделирования Cadence

#### 3.4.7. Система контроля и оценивания. Структура и график контрольных мероприятий

Оценка качества освоения теоретической части проводится с использованием тестирования в Moodle-ОРИОКС. Выполнение лабораторных работ оценивается представлением отчета по работе и/или тестирования после работы. Зачет по дисциплине ставится по результатам тестирования и выполнения/оформления отчета/тестирования по всем лабораторным работам.

### 3.5. Рабочая программа практики

#### 3.5.1. Цель реализации практики

Цель программы - повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации в области использования программных средств для проектирования аналоговых и цифровых блоков наноразмерных СнК

#### 3.5.2. Требования к результатам обучения

Практика участвует в формировании профессиональной компетенций – способен использовать программные средства для схемотехнического моделирования и проектирования аналоговых и цифровых блоков наноразмерных СнК (ПК-1), способен разрабатывать топологическое представление нанoeлектронных систем на кристалле в САПР Cadence (ПК-2), способен использовать программные средства для разработки функционально-логического представления цифровых блоков в САПР Cadence (ПК-3), способен проектировать аналоговые блоки СнК в САПР Cadence (ПК-4).

В результате освоения данной программы слушатель должен иметь:

**Знания:** Основные принципы построения электрических схем простейших элементов, Языки поведенческого описания (Verilog-A(AMS), VHDL, Mathlab)

**Умения:** Разрабатывать аналоговые блоки, проводить моделирование аналоговых блоков средствами САПР, использовать функциональные возможности и способы применения программных пакетов систем автоматизированного проектирования

**Опыт деятельности:** Разбиение аналоговых блоков на функциональные субблоки небольшого размера; разработка схемотехнических решений функциональных субблоков, создание символьных представлений; Разработка и описание тестовых окружений для аналоговых субблоков; Разработка необходимых наборов тестов для верификации СФ-блоков, измерение основных статических характеристик СФ-блока.

#### 3.5.3. Содержание практики

##### Учебный план практики

№	Наименование разделов и тем	Всего, час	ЭО или ДОТ, час			Самост. работа, час
			Лекции, час	Практ. зан. час	Лаб.зан. час	
1	Проектирование топологии СнК в САПР Cadence	20	-	-	-	20
2	Синтез логических схем из поведенческого описания в САПР Cadence	20	-	-	-	20
3	Проектирование элементов низкочастотных аналоговых интегральных схем с учетом заданных требований в САПР Cadence	16	-	-	-	16
	Всего	56	-	-	-	56
	Итоговая аттестация: зачет					

**Типовое задание по практике приведено далее:**

1. Исследование статических характеристик цифрового элемента.
2. Разработка и моделирование RTL описаний последовательных схем
3. Смешанное моделирование VERILOG NETLIST счетчика.
4. Исследование дифференциальных каскадов на МДП транзисторах

### **3.5.4. Учебно-методическое обеспечение практики**

1. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 768 с.
2. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники / А.Г. Алексенко. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Лаборатория Базовых знаний. Физматлит : Юнимедиастайл, 2002. - 448 с.
3. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт : Высшее образование, 2009. - 463 с.
4. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем: Краткий справочник разработчика / В.И. Эннс, Ю.М. Кобзев. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 454 с.
5. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств : [Учеб. пособие] / Г.И. Волович. - 3-е изд. - М. : ДОДЭКА-XXI, 2011. - 528 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/61027> (дата обращения: 14.12.2020). - ISBN 978-5-94120-254-6
6. Эннс В.И. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем [Текст] : Краткий справочник разработчика / В.И. Эннс, Ю.М. Кобзев. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 454 с.
7. Титце У. (Tietze U.). Полупроводниковая схемотехника = Halbleiter-Schaltungstechnik : [В 2 т.] : Пер. с нем. Т. 1 / У. Титце, К. Шенк. - М. : ДМК Пресс : ДОДЭКА-XXI, 2008. - 832 с.
8. Титце У. (Tietze U.). Полупроводниковая схемотехника = Halbleiter-Schaltungstechnik : [В 2 т.] : Пер. с нем. Т. 2 / У. Титце, К. Шенк. - М. : ДМК Пресс : ДОДЭКА-XXI, 2008. - 944 с.

### **3.5.5. Материально-технические условия реализации практики**

<b>Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий</b>	<b>Вид занятия</b>	<b>Наименование оборудования, программного обеспечения</b>
Компьютер пользователя	практика	САПР Cadence, САПР TCAD, удаленный доступ к серверу МИЭТ с ПО

### **3.5.6. Система контроля и оценивания практики**

Для получения зачета по практике нужно оформить отчет по практике, который представляет собой результаты выполнения заданий на дисциплины практики. Отчет по практике оформляется как итоговая аттестационная работа.

#### 4. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Описание учебно-методического и материально-технического обеспечения программы переподготовки приведено в рабочих программах учебных дисциплин (модулей), практик.

#### 5. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Оценка качества освоения программы осуществляется в ходе сдачи/защиты ИАР. Допуском к защите является наличие зачетов по всем дисциплинам учебного плана и зачета по практике. ИАР оформляется как результаты практики, выстроенные в логической последовательности.

Формируемые компетенции описаны ранее в разделе 1.3.

Критерии оценки ИАР приведены далее:

№	Критерии оценки ИАР	Максимальный балл
1	Соблюдение календарного плана выполнения ИАР	30
2	Практическая ценность ИАР	10
3	Научно-исследовательский характер работы	10
4	Соответствие оформления ИАР требованиям ГОСТ	10
5	Глубина проработки теоретического материала	15
6	Новизна применяемых методик	15
7	Степень использования САПР для выполнения расчетов	10

Оценка “удовлетворительно” ставится при наборе 50-75 баллов;

Оценка “хорошо” ставится при наборе 76-84 баллов;

Оценка “отлично” ставится при наборе более 85 баллов.

#### Разработчики программы:

д.т.н., профессор каф. ИЭМС

д.т.н., профессор каф. ИЭМС



Т.Ю. Крупкина

В.В. Лосев

#### Согласовано:

Директор ДРОП

Зам.зав.каф. ИЭМС



Н.Ю. Соколова

Т.Ю. Крупкина