

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 31.10.2023 16:21:23

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bea882b8d602

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



» 31 октября 2021

## ПРОГРАММА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ

«Автоматизированное проектирование СБИС и систем на кристалле»

Москва – 2021

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

### 1.1. Цель реализации программы

Цель программы – формирование у слушателей профессиональных компетенций, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности, приобретения новой квалификации в области проектирования СБИС и систем на кристалле с использованием современных САПР.

Программа профессиональной переподготовки ориентирована на слушателей, имеющих высшее образование или опыт трудовой деятельности в проектировании изделий микро и наноэлектроники и знакомых с программными и лингвистическими средствами САПР.

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

Характеристике нового вида профессиональной деятельности, новой квалификации на основании нормативных документов к программам профессиональной переподготовки и профстандартов, определены:

*а) область профессиональной деятельности включает* совокупность средств, способов и методов деятельности, направленной на исследование, математическое и компьютерное моделирование, проектирование электронных компонентов, функциональных блоков, устройств микро- и наноэлектроники различного назначения.

*б) объектами профессиональной деятельности являются:* электронные компоненты, функциональные блоки, устройства микро- и наноэлектроники различного назначения, методы их исследования и проектирования, технологические процессы производства, математические модели, алгоритмы решения типовых задач, современное программное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники.

*в) виды и задачи профессиональной деятельности;*

Слушатель, успешно завершивший обучение по данной программе, должен решать следующие профессиональные задачи в соответствии с видами профессиональной деятельности

| Профстандарт                                                                                             | Вид профессиональной деятельности                                                            | Задачи профессиональной деятельности                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>40.016</b> «Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле» | Проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований | -Разработка синтезопригодного описания уровня регистровых передач (В)<br>-Синтез логической схемы в базе выбранной технологической библиотеки на основе заданных временных и физических |

|                                                                                                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                             |                                                                                              | ограничений с использованием средств автоматизированного проектирования (С)<br>-Разработка топологического описания на основе полученного списка цепей с учетом набора ограничений (D)<br>-Разработка аналоговой части ИС или СнК (E)                                                                                                                                                                |
| <b>40.040</b> "Инженер в области разработки библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков"                      | Проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований | - Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки (A)<br>- Разработка топологии, физического представления стандартных ячеек библиотеки (B)<br>- Разработка электрических схем, характеристика сложнофункциональных блоков (СФ-блоков) (D)<br>- Разработка топологии, физического представления СФ-блока (E)<br>- Разработка поведенческого описания модели СФ-блока (F) |
| <b>40.045</b> "Инженер-проектировщик фотошаблонов для производства наносистем (включая наносенсорику и интегральные схемы)" | Проектирование фотошаблонов и подготовка управляющей информации для их изготовления          | - Проектирование фотошаблонов субмикронного и нанометрового уровней технологии (A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

*г) уровень квалификации в соответствии с профессиональным стандартом (при наличии).*

Уровни квалификации слушателя устанавливаются в соответствии с профессиональными стандартами и Приказом Минтруда России № 148н от 12.04.2013 в зависимости от полномочий и ответственности работника:

6-й уровень требует высшего образования по программе бакалавриата или среднего специального образования. Предполагает исключительно самостоятельную работу или работу по управлению группой людей (организацией или частью крупной организации). Характер умений — внедрение (улучшение) определенных технологических или методологических решений.

7-й уровень— это квалификация высшего руководства, ответственного за работу крупных отделов или подразделений, вследствие чего работник должен владеть навыками управления и стратегического планирования, а также инновационной деятельности. Требования к высшему образованию – не ниже магистратуры / специалитета.

В соответствии с документом "Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих", утвержденным постановлением Минтруда РФ от 9 февраля 2004 г. N 9 программа профессиональной переподготовки подготовки направлена на подготовку инженеров-проектировщиков.

Должностные обязанности:

- на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием средств автоматизации проектирования разрабатывает отдельные разделы (части) проекта;
- Принимает участие в подготовке заданий на разработку проектных решений;
- Участвует в сборе исходных данных для проектирования, в решении технических вопросов в области своих профессиональных задач;
- Увязывает принимаемые проектные решения с проектными решениями по другим разделам (частям) проекта;
- Проводит патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты новых проектных решений и патентоспособности;
- Обеспечивает соответствие разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, а также заданию на их разработку;
- Участвует в анализе и обобщении опыта разработки проектов и их реализации и на этой основе готовит предложения о целесообразности корректировки принятых общих и принципиальных проектных решений;
- Принимает участие в составлении заявок на изобретения, подготовке заключений и отзывов на рационализаторские предложения и изобретения, проекты стандартов, технических условий и других нормативных документов, в работе семинаров и конференций.

Должен знать:

- методы проектирования и проведения технико-экономических расчетов; принципы работы устройств и систем в своей области;
- постановления, распоряжения, приказы вышестоящих и других органов, методические и нормативные материалы по проектированию, стандарты, технические условия и другие руководящие материалы по разработке и оформлению документации;

- технические средства проектирования;
- основы патентоведения и передовой отечественный и зарубежный опыт проектирования;
- технические, экономические, экологические и социальные требования к организации процесса проектирования.

Требования к квалификации:

Инженер-проектировщик I категории: высшее профессиональное образование и стаж работы в должности инженера-проектировщика II категории не менее 2 лет.

Инженер-проектировщик II категории: высшее профессиональное образование и стаж работы на инженерно-технических должностях, замещаемых специалистами с высшим профессиональным образованием не менее 2 лет.

Инженер-проектировщик III категории: высшее профессиональное образование и опыт работы в проектных организациях.

Инженер-проектировщик: высшее профессиональное образование без предъявления требований к стажу работы или среднее профессиональное образование и опыт работы в проектных организациях не менее 5 лет.

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

*а) Слушатель в результате освоения программы должен обладать следующими профессиональными компетенциями инженера-проектировщика:*

- проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием средств автоматизации проектирования
- подготовка исходных данных и проектирование фотошаблонов субмикронного и нанометрового уровней технологии.

*б) Выпускник должен обладать знаниями, умениями и навыками в следующих областях разработки и проектирования микросхем различного назначения:*

- Знать основные возможности и иметь опыт практической деятельности при использовании программных средств САПР SYNOPSIS;
- Владеть навыками функциональной верификации цифровых СБИС и СнК;
- Знать особенности проектирования на системном уровне;
- Владеть навыками и иметь опыт проектирования цифровых СБИС и СнК на основе библиотек стандартных ячеек;
- Владеть навыками и иметь опыт заказного проектирования цифровых,

аналоговых и аналого-цифровых СБИС.

| Уровень | Показатели уровней квалификации                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                | Основные пути достижения уровня квалификации                                                                                                                                                                                                                            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | Полномочия и ответственность                                                                                                                                                                                                                                                   | Характер умений                                                                                                                                                                                        | Характер знаний                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 6       | Самостоятельная деятельность, предполагающая определение задач собственной работы и/или подчиненных по достижению цели. Обеспечение взаимодействия сотрудников и смежных подразделений. Ответственность за результат выполнения работ на уровне подразделения или организации. | Разработка, внедрение, контроль, оценка и корректировка направлений профессиональной деятельности, технологических или методических решений                                                            | Применение профессиональных знаний технологического или методического характера, в том числе, инновационных. Самостоятельный поиск, анализ и оценка профессиональной информации                | Образовательные программы высшего образования - программы бакалавриата. Образовательные программы среднего профессионального образования - программы подготовки специалистов среднего звена. Дополнительные профессиональные программы. Практический опыт деятельности. |
| 7       | Определение стратегии, управление процессами и деятельностью, в том числе, инновационной, с принятием решения на уровне крупных организаций или подразделений. Ответственность за результаты деятельности крупных                                                              | Решение задач развития области профессиональной деятельности и (или) организации с использованием разнообразных методов и технологий, в том числе, инновационных. Разработка новых методов, технологий | Понимание методологических основ профессиональной деятельности. Создание новых знаний прикладного характера в определенной области. Определение источников и поиск информации, необходимой для | Образовательные программы высшего образования – программы магистратуры или специалитета. Дополнительные профессиональные программы. Практический опыт                                                                                                                   |

|  |                               |  |                                                                   |  |
|--|-------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------|--|
|  | организаций или подразделений |  | развития области профессиональной деятельности и /или организации |  |
|--|-------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------|--|

### Планируемые результаты освоения программы

| Компетенция и ее код                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Трудовые функции, в соответствии с ПС                                                                       |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Наименование                                                                                                | Код    |
| <p>40.016 «Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле»</p> <p>ОТФ:</p> <p>В Разработка синтезопригодного описания уровня регистровых передач</p> <p>С Синтез логической схемы в базе выбранной технологической библиотеки на основе заданных временных и физических ограничений с использованием средств автоматизированного проектирования</p> <p>D Разработка топологического описания на основе полученного списка цепей с учетом набора ограничений</p> |                                                                                                             |        |
| Проектирование и сопровождение интегральных схем и систем на кристалле на системном, функциональном, логическом и физическом уровнях описания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Моделирование функционального описания с использованием программ событийного и/или временного моделирования | В/03.7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Разработка набора ограничений на процесс синтеза                                                            | С/01.7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Разработка списка цепей в базе библиотеки фабрики-изготовителя СнК                                          | С/02.7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Осуществление предварительной экстракции паразитных параметров, проведение статического                     | D/03.7 |

|                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                   |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                                                                                                                                                                                                | временного анализа                                                                                |        |
| 40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»<br>ОТФ:<br>D Разработка электрических схем, характеристика сложнофункциональных блоков (СФ-блоков)    |                                                                                                   |        |
| Проектирование и сопровождение интегральных схем, систем на кристалле на системном, функциональном, логическом и физическом уровнях описания                                                                   | Разработка электрической принципиальной схемы СФ-блока                                            | D/01.7 |
|                                                                                                                                                                                                                | Контроль первичных технических требований, выбор технологического базиса для аналогового СФ-блока | D/02.7 |
|                                                                                                                                                                                                                | Определение основных статических и динамических характеристик СФ-блока                            | D/03.7 |
|                                                                                                                                                                                                                | Компьютерное моделирование и верификация поведенческой модели всего СФ-блока и отдельных блоков   | D/06.7 |
| 40.045 "Инженер-проектировщик фотошаблонов для производства наносистем (включая наносенсорику и интегральные схемы)"<br>ОТФ:<br>А Проектирование фотошаблонов субмикронного и нанометрового уровней технологии |                                                                                                   |        |

|                                                                                                                                                                 |                                                                                                                  |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Проектирование и сопровождение фотошаблонов, включая подготовку управляющей информации для изготовления фотошаблонов с информационной защитой проектных решений | Настройка математических моделей литографического процесса для проведения коррекции оптических эффектов близости | A/03.6 |
|                                                                                                                                                                 | Проведение оптимизации параметров топологии в соответствии с техническим заданием                                | A/04.6 |
|                                                                                                                                                                 | Разработка виртуального прототипа фотошаблона                                                                    | A/05.6 |
|                                                                                                                                                                 | Проведение подготовки управляющей информации для оборудования участка изготовления фотошаблонов                  | A/06.6 |

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

Лица, желающие освоить дополнительную профессиональную программу должны иметь высшее техническое образование и обладать квалификацией — бакалавр, специалист или магистр и/или опыт профессиональной деятельности в области проектирования ИС. Наличие указанного образования и/или опыт профессиональной деятельности должно подтверждаться документом государственного или установленного образца.

#### **1.5. Трудоемкость обучения**

Нормативная трудоемкость обучения по данной программе – 768 часов, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы слушателя.

#### **1.6. Форма обучения**

Форма обучения устанавливается при наборе группы слушателей и фиксируется в договорах с заказчиками на оказание образовательных услуг.

#### **1.7. Режим занятий**

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

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### 2.1. Учебный план

#### программы профессиональной переподготовки

#### «Автоматизация проектирования СБИС и систем на кристалле»

| №<br>п/п | Наименование<br>дисциплин (модулей)                                          | Семес<br>тр | Общая<br>трудоемкость,<br>час | Контактная работа, час |                        |                         | СРС,<br>час | Промежуточ<br>ная<br>аттестация |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|
|          |                                                                              |             |                               | Лекции                 | Лабораторные<br>работы | Практические<br>занятия |             |                                 |
| 1        | ИТ-инфраструктура САПР                                                       | 1           | 35                            | 16                     | 16                     | -                       | 3           | Зачет                           |
| 2        | Основы проектирования БИС средствами Synopsys                                | 1           | 51                            | 16                     | 32                     | -                       | 3           | Зачет                           |
| 3        | Проектирование библиотечных элементов                                        | 1           | 57                            |                        | -                      | -                       | 57          | Диф.зачет<br>КП                 |
| 4        | Аналитические методы исследования изделий микроэлектроники и наноэлектроники | 1           | 58                            | -                      |                        | 16                      | 42          | Экзамен                         |
| 5        | Проектирование аналоговых ИС                                                 | 2           | 58                            | 16                     | 16                     | 16                      | 10          | Экзамен                         |
| 6        | Автоматизированный синтез и оптимизация                                      | 2           | 58                            | 16                     | 32                     | -                       | 10          | Экзамен                         |
| 7        | Моделирование в среде TCAD                                                   | 2           | 53                            | 16                     | 32                     | -                       | 5           | Диф.зачет                       |
| 8        | Разработка графических интерфейсов                                           | 2           | 37                            | 8                      | 16                     |                         | 13          | Диф.зачет                       |
| 9        | Проектирование аналоговых ИС                                                 | 3           | 83                            | 16                     |                        |                         | 67          | Экзамен<br>КП                   |
| 10       | Цифровое проектирование в среде Synopsys                                     | 3           | 115                           | 16                     | 32                     | -                       | 67          | Экзамен<br>КП                   |
| 11       | Математическое моделирование приборных структур                              | 3           | 35                            | 16                     | 16                     | -                       | 3           | Зачет                           |
| 12       | Физическая и схемотехническая верификация                                    | 4           | 56                            | 8                      | 16                     | -                       | 32          | Экзамен                         |
| 13       | Проектирование систем на кристалле                                           | 4           | 35                            | 16                     | 16                     |                         | 3           | Зачет                           |
| 14       | Подготовка данных для изготовления фотошаблонов средствами Synopsys CATS     | 4           | 35                            | 16                     | -                      | 16                      | 3           | Зачет                           |
| 15       | Итоговая аттестация                                                          | 4           | 2                             |                        |                        |                         |             | ВР                              |
|          | <b>Итого по программе</b>                                                    |             | <b>768</b>                    | <b>176</b>             | <b>256</b>             | <b>64</b>               | <b>270</b>  |                                 |

\* КП - Курсовой проект

## 2.2. Календарный учебный график

[illegible]

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

#### **3.1. Рабочая программа учебной дисциплины Операционная система LINUX**

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

Целью реализации дисциплины «Операционная система Linux» является формирования у обучаемого комплекса знаний, умений и навыков в области применения в сфере профессиональной деятельности бездисковых операционных систем семейства UNIX.

Задачи дисциплины «Операционная система Linux»:

- познакомиться с историей развития операционных систем семейства UNIX, подробнее остановившись на классе операционных систем Linux (их достоинства и недостатки, преимущества перед семейством Windows операционных систем);
- познакомиться с типами объектов файловой системы (файлы, директории, ссылки, файлы устройств);
- получить навыки работы с методами фильтрации, сортировки и поиска данных в объектах файловой системы;
- научиться программировать на скриптовом языке командного интерпретатора BASH для полной или частичной автоматизации профессиональных заданий;
- освоить потоковые фильтры AWK и SED для управления потоками данных при систематизации профессиональных заданий.

##### **3.1.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)**

###### **Требования к результатам освоения программы**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенций:

- проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств системного уровня

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен:**

**Знать:**

- особенности использования аппаратной архитектуры и спектр программного обеспечения для сокращения временных и трудовых ресурсов при выполнении профессиональных функций в области радиоэлектронной промышленности, а также синтаксис скриптовых языков программирования (например, BASH, AWK, SED и/или аналогов) для автоматизации профессиональной деятельности;

**Уметь:**

- оставлять управляющие конструкции (условные / циклические) на скриптовых языках программирования BASH, AWK и SED на основе блок-схемы программы;

**Приобрести практический опыт:**

- по управлению массивами данных в процесс поиска, фильтрации, сортировки объектов, в также приобрести навыки программирования на скриптовых языках для полной или частичной автоматизации организации и проведения научных исследований.

**3.1.3. Объем дисциплины и виды учебной работы**

| Общая<br>трудоемкос-<br>ть, часы | Контактная работа |                |                             |                                 | Самостоятель-<br>ная работа,<br>час | Промежуточ-<br>ная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекции,<br>час | Лабораторные<br>работы, час | Практические<br>занятия,<br>час |                                     |                                  |
| 35                               | 35                | 16             | 16                          |                                 | ---                                 | 3                                |

**3.1.4. Учебно-тематический план дисциплины**

| №   | Наименование<br>разделов и тем             | Всего, час | Контактная работа |                         |                         | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|-----|--------------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|     |                                            |            | Лекции            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>занятия |                                     |
| 1.  | Работа в командном интерпретаторе ОС Linux | 16         | 8                 | 0                       | 8                       | 0                                   |
| 1.1 | Введение в                                 | 4          | 2                 | 0                       | 2                       | 0                                   |

|           |                                                                                                                                     |           |          |   |          |   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|---|----------|---|
|           | операционную систему Linux (история, архитектура, связь аппаратных компонентов и программного обеспечения, командный интерпретатор) |           |          |   |          |   |
| 1.2       | Назначение прав доступа на объекты файловой системы в Linux                                                                         | 4         | 2        | 0 | 2        | 0 |
| 1.3.      | Поиск, фильтрация и сортировка данных в Linux                                                                                       | 4         | 2        | 0 | 2        | 0 |
| 1.4.      | Системные процессы, архивирование и сжатие данных в Linux                                                                           | 4         | 2        | 0 | 2        | 0 |
| <b>2.</b> | <b>Программирование в ОС Linux</b>                                                                                                  | <b>14</b> | <b>6</b> |   | <b>8</b> |   |
| 2.1       | Программирование в командном интерпретаторе BASH                                                                                    | 6         | 2        | 0 | 4        | 0 |
| 2.2.      | Программирование с использованием потокового фильтра AWK                                                                            | 6         | 2        | 0 | 4        | 0 |
| 2.3.      | Программирование с использованием потокового фильтра SED                                                                            | 2         | 2        | 0 | 0        | 0 |
| <b>3.</b> | <b>Настройка</b>                                                                                                                    |           |          |   |          |   |

|                                                        |                                                                            |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                        | <b>пользовательского окружения в ОС Linux</b>                              |          |          |          |          |          |
| 3.1.                                                   | Текстовые редакторы, рабочие столы, настройка переменных окружения в Linux | 2        | 2        | 0        | 0        | 0        |
| 4.                                                     | <b>Зачет</b>                                                               | <b>3</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
|                                                        | Всего                                                                      | 35       | 16       | 0        | 16       | 0        |
| Итоговая аттестация: комплекс разработанных материалов |                                                                            |          |          |          |          |          |

### 3.1.5. Содержание дисциплины

#### Раздел 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.

#### Раздел 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.

#### Раздел 3. Программирование в ОС Linux (14 часов)

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

### Перечень практических занятий

Практические занятия отсутствуют.

### Перечень лабораторных работ

| Номер<br>темы | Наименование практического занятия                                 | Кол-во<br>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               |

### **3.1.6. Перечень учебной литературы**

#### **Основная литература**

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

#### **Дополнительная литература**

1. Смирнов С.А. Компьютерные технологии в науке и образовании: Учебное пособие/ГОУ ВПО Иван.гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2006. - 136с. ISBN 5-9616-0170-6 (<http://window.edu.ru>)
2. М. Гук / Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия // Изд-во «Питер», 1999 г. - 1072 стр. (<http://www.twirpx.com/>)
3. Шварц Р.Л., Феникс Т., Фой Б.Д. Perl : изучаем глубже [Текст] = Intermediate Perl : Second Edition / R.L. Schwartz, B.D. Foy, T. Phoenix / Р. Л. Шварц, Т. Феникс, Б. Д. Фой ; [Пер. с англ. А. Киселева]. - 2-е изд. - СПб. : Символ-Плюс, 2008. - 320 с. - ISBN 978-5-93286-093-9; ISBN 5-93286-093-6

### **3.1.7. Информационные ресурсы**

1) Корпоративная информационно-технологическая платформа ОРИОКС (orioks.miet.ru).

2) Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>), , Известия вузов. Электроника [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7821](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7821), Нано- и микросистемная техника [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=9293](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9293), Микроэлектроника [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7900](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7900).

3) Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)), Semiconductors <http://www.scopus.com/source/sourceInfo.url?sourceId=29834&origin=resultslist>; Nanotechnologies in Russia <http://www.scopus.com/source/sourceInfo.url?sourceId=19700186876&origin=resultslist>

### 3.1.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы             | Перечень программного обеспечения |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Ауд. 7207<br>Образовательный центр<br>Synopsys - МИЭТ (20 мест)           | Стол, стул, системный блок, монитор, клавиатура, устройство «мышь», принтер, Интернет | ОС Linux, OpenOffice              |

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

#### Компьютерные тесты в ОРОКС:

Для текущего контроля обучаемым предлагается в корпоративной информационной системе МИЭТ ОРОКС пройти 6-ть тестов по темам курса в тестовом пространстве кафедры Интегральной электроники и микросистем :

- Работа в командном интерпретаторе BASH ОС Linux (KTNI\_OS1);
- Права доступа к объектам файловой системы в ОС Linux (KTNI\_OS2);
- Поиск, фильтрация и сортировка данных в ОС Linux (KTNI\_OS3);
- Системные процессы, архивирование и сжатие данных в ОС Linux (KTNI\_OS4);
- Программирование в BASH ОС Linux (KTNI\_OS5);
- Программирование в BASH ОС Linux (KTNI\_OS6).

#### Структура и график контрольных мероприятий:

|       | №пп    | Название              | Баллы | Неделя |
|-------|--------|-----------------------|-------|--------|
|       |        |                       | макс  |        |
|       | ЛР.1   | Лабораторная работа 1 | 10    | 4      |
|       | ЛР.2   | Лабораторная работа 2 | 10    | 4      |
|       | ЛР.3   | Лабораторная работа 3 | 10    | 8      |
|       | ЛР.4   | Лабораторная работа 4 | 10    | 8      |
|       | ЛР.5   | Лабораторная работа 5 | 10    | 12     |
|       | ЛР.6   | Лабораторная работа 6 | 10    | 16     |
|       | Тест 1 | Тест 1                | 5     | 4      |
|       | Тест 2 | Тест 2                | 5     | 4      |
|       | Тест 3 | Тест 3                | 5     | 8      |
|       | Тест 4 | Тест 4                | 5     | 8      |
|       | Тест 5 | Тест 5                | 5     | 12     |
|       | Тест 6 | Тест 6                | 5     | 16     |
|       | П.1    | Посещаемость          | 8     | 17     |
|       | А.1    | Активность            | 2     | 17     |
| Сумма |        |                       | 100   |        |

## **3.2. Рабочая программа учебной дисциплины** **Основы проектирования БИС средствами Synopsys**

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

Целью дисциплины «Основы проектирования БИС средствами САПР Synopsys» является детальное рассмотрение и изучение маршрутов и методологий проектирования СБИС, а также изучение инструментов Synopsys для автоматизации различных этапов проектирования.

### **3.2.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)**

#### **Требования к результатам освоения программы**

Рассматриваемая дисциплина ориентирована на магистров и является вводной в проектирование на основе САПР компании Synopsys. Она должна включать в себя обобщение пройденного материала и обзор актуальных инструментов, входящих в САПР Synopsys.

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенций:

- проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств Synopsys

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен:**

**Знать:**

- маршруты и методологию проектирования СБИС;

**Уметь:**

- пользоваться инструментами САПР Synopsys для проектирования СБИС;

**Приобрести практический опыт:**

- проектирования цифровых СБИС различного назначения с использованием программных средств Synopsys;

### 3.2.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемкост<br>ть, часы | Контактная работа |                |                             |                                 | Самостоятель<br>ная работа,<br>час | Промежуточ<br>ная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекции,<br>час | Лабораторные<br>работы, час | Практические<br>занятия,<br>час |                                    |                                 |
| 51                               | 48                | 16             | 32                          | -                               | -                                  | 3<br>Зачет                      |

### 3.2.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №    | Наименование<br>разделов и тем                                                                                  | Всего, час | Контактная работа |                         |                         | Самостояте<br>льная<br>работа, час |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|
|      |                                                                                                                 |            | Лекции            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>занятия |                                    |
| 1.   | <b>Модуль 1.<br/>Этапы и<br/>маршруты<br/>проектирования<br/>СБИС,<br/>особенности<br/>отдельных этапов</b>     |            | 4                 |                         | 4                       |                                    |
| 1.1  | Маршруты<br>проектирования.<br>Маршруты<br>проектирования<br>аналоговых,<br>цифровых,<br>смешанных<br>микросхем |            | 2                 |                         |                         |                                    |
| 1.1. | Главные<br>концепции                                                                                            |            | 2                 |                         |                         |                                    |

|      |                                                                                             |  |    |  |    |  |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--|----|--|----|--|
|      | проектирования полупроводниковых ИС. Особенности маршрута разработки библиотечных элементов |  |    |  |    |  |
| 2.   | <b>Модуль 2.<br/>Инструменты САПР SYNOPSYS</b>                                              |  | 10 |  | 24 |  |
| 2.1. | Общие сведения о САПР Synopsys                                                              |  | 2  |  |    |  |
| 2.2. | Организация проектирования СБИС средствами САПР                                             |  | 2  |  |    |  |
| 2.3. | Заказной маршрут проектирования                                                             |  | 2  |  |    |  |
| 2.4. | Средства заказного маршрута проектирования цифро-аналоговых схем                            |  | 2  |  |    |  |
| 2.5. | Средства заказного маршрута проектирования цифро-аналоговых схем                            |  | 2  |  |    |  |
| 3.   | <b>Модуль 3.<br/>Особенности проектирования нанометровых СБИС</b>                           |  | 2  |  | 4  |  |
| 3.1. | Особенности синтеза и оптимизации нанометровых                                              |  | 2  |  |    |  |

|                                                                       |       |    |    |   |    |  |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|----|----|---|----|--|
|                                                                       | СБИС  |    |    |   |    |  |
| 4.                                                                    | Зачет | 3  | 0  | 0 |    |  |
|                                                                       | Всего | 51 | 16 |   | 32 |  |
| Итоговая аттестация: Итоговый тест, комплекс разработанных материалов |       |    |    |   |    |  |

### 3.2.5. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Этапы и маршруты проектирования СБИС, особенности отдельных этапов ( 4 часа )

Тема 1.1. Маршруты проектирования. Маршруты проектирования аналоговых, цифровых, смешанных микросхем. Главные концепции проектирования полупроводниковых ИС. Особенности маршрута разработки библиотечных элементов.

#### Раздел 2. Инструменты САПР SYNOPSYS ( 10 часа )

Тема 2.1. Общие сведения о САПР Synopsys. История создания компании и системы. Назначение системы. Состав системы и назначение программных продуктов.

Тема 2.2. Организация проектирования СБИС средствами САПР. Особенности проектирования на отдельных этапах. Платформы Galaxy и Discovery.

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

Тема 2.4. Средства заказного маршрута проектирования цифро-аналоговых схем. Схемотехнический и топологический редактор Custom Compiler SE и Custom Compiler LE.

Тема 2.5. Средства заказного маршрута проектирования цифро-аналоговых схем. Программы проверки топологии и экстракции паразитных элементов IC-Validator, Star-RCXT.

#### Раздел 3. Особенности проектирования нанометровых СБИС ( 2 часа )

Тема 3.1. Особенности синтеза и оптимизации нанометровых СБИС

#### Перечень практических занятий

Не предусмотрено.

#### Перечень лабораторных работ

| Номер | Наименование и/или краткое содержание лабораторных работ | Кол-во |
|-------|----------------------------------------------------------|--------|
|-------|----------------------------------------------------------|--------|

| темы     |                                                                                                                                                         | часов |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1.1      | Описание электрической схемы на транзисторном уровне. Составление задания на моделирование. Особенности SPICE-подобного языка HSPICE компании SYNOPSYS. | 4     |
| 2.2, 2.3 | Исследование характеристик электрической схемы с применением средств HSPICE, CosmosScope и Waveview.                                                    | 4     |
| 2.4      | Схемотехнический редактор Custom Compiler SE. Разработка электрической схемы в формате OpenAccess. Составление задания для моделирования в среде SAE.   | 4     |
| 2.4      | Топологический редактор Custom Compiler LE. 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     |

### 3.2.6. Перечень учебной литературы

1. Казённов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. М.: БИНОМ: Лаборатория знаний. 2009 г. 296 с.
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника.- М.: Горячая линия – Телеком, 2005.- 768с.
3. А.Л. Сتمпковский, С.В. Гаврилов, А.Л. Глебов. «Методы логического и логико-временного анализа цифровых КМОП СБИС». 2007 г.
4. Материалы сайта <http://www.russianelectronics.ru/>

### Периодические издания:

1. Журнал Известия вузов. Электроника
2. Журнал Информационные технологии.

### 3.2.7. Информационные ресурсы

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. Система ОРОКС
2. Коллекция информационных ресурсов: <http://www.sciencedirect.com/>
3. Поисковые системы: [www.google.com](http://www.google.com) и <http://books.google.ru/>

### **3.2.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лабораторные работы проводятся в компьютерном классе МИЭТ (аудитория 7207), оснащённом персональными компьютерами с центральными процессорами Intel Core i7 и ОС LINUX (CentOS 6x или CentOS 7x). Все работы выполняются в программной среде САПР SYNOPSYS. Для проведения интерактивных лекционных занятий желательно наличие в аудитории мультимедийного проектора.

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

| Шифр  | Тип                     | Макс. балл | Учебная неделя |
|-------|-------------------------|------------|----------------|
| А/П.1 | Активность/Посещаемость | 10         | 2              |
| РК.1  | Рубежный контроль       | 20         | 5              |
| А/П.2 | Активность/Посещаемость | 10         | 7              |
| З.1   | Зачёт                   | 60         |                |

### 3.3. Рабочая программа учебной дисциплины Проектирование библиотечных элементов

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

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области элементной и компонентной базы цифровых СБИС, позволяющих понимать принципы работы, как отдельных библиотечных элементов, так и их работу в составе интегральных схем и электронных устройств.

Задачами дисциплины являются рассмотрение и изучение методов проектирования элементной и компонентной базы цифровых СБИС с учетом заданных требований.

#### 3.3.2. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств для схемотехнического проектирования

В результате освоения данной программы слушатель должен:

**Знать:**

- программные средства САПР SYNOPSIS;
- особенности проектирования цифровых библиотек стандартных ячеек.

**Уметь** использовать программные средства САПР SYNOPSIS для схемотехнического проектирования и моделирования;

**Иметь практический опыт** в области схемотехнического проектирования цифровых стандартных ячеек в САПР Synopsys.

#### 3.3.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                |                                  |                                      | Самостоятель-<br>ная работа,<br>час | Промежуточ-<br>ная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекции,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы, час | Практичес-<br>кие<br>занятия,<br>час |                                     |                                  |
| 57                               | 57                | -              | -                                | -                                    | 32 (КП)                             | 25 (ЗаО)                         |

### 3.3.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №                              | Наименование разделов и тем                                               | Всего, час | Контактная работа |                      |                      | Самостоятельная работа, час |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
|                                |                                                                           |            | Лекции            | Практические занятия | Лабораторные занятия |                             |
| 1.                             | Проектирование библиотек цифровых стандартных ячеек (курсовой проект, КП) | 32         | 0                 | 0                    | 0                    | 32                          |
| 1.1                            | Разработка комбинационных цифровых ячеек                                  | 16         | 0                 | 0                    | 0                    | 16                          |
| 1.2.                           | Разработка последовательностных цифровых ячеек                            | 16         | 0                 | 0                    | 0                    | 16                          |
| 5.                             | Дифференцированный зачет                                                  | 25         | 0                 | 0                    |                      |                             |
|                                | Всего                                                                     | 57         |                   |                      |                      |                             |
| Итоговая аттестация: защита КП |                                                                           |            |                   |                      |                      |                             |

### 3.3.5. Содержание дисциплины

Раздел 1. Проектирование элементов библиотек цифровых стандартных ячеек (курсовой проект, КП) (32 часа)

Тема 1.1. Разработка комбинационных цифровых ячеек

Исследование и разработка КМОП инвертора, буфера, сложного комбинационного вентиля.

Тема 1.2. Разработка последовательностных цифровых ячеек

Исследование и разработка статического КМОП синхронного D-триггера с асинхронным управлением сбросом/установкой.

### 3.3.6. Перечень учебной литературы

1. Справочная документация на ПО Synopsys
2. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне [Текст] / Б. П. Вонг [и др.]; Пер. с англ. К.В. Юдинцева. - М. : Техносфера, 2014. - 432 с.
3. Харрис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. - 2-е изд. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 770 с.

### 3.3.7. Информационные ресурсы

1. Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)),
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>),
3. Издательство Springer (<http://springerlink.com>).

### 3.3.8. Материально-технические условия реализации программы

|                                                   | Вид занятия             | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                                                                      |
|---------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Компьютерный класс с мультимедийным оборудованием | Консультация, защита КП | САПР Synopsys, специализированные библиотеки<br>Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска<br>ПО: Microsoft Power Point, Word; Adobe Reader |

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

Оценка качества освоения программы включает итоговую аттестацию обучающихся в форме зачета с оценкой.

Слушатель считается аттестованным, если:

- выполнил и защитил курсовой проект;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче зачета.

#### Структура и график контрольных мероприятий

| Шифр  | Тип КМ                  | Балл | Название КМ                                     | Учебная неделя |
|-------|-------------------------|------|-------------------------------------------------|----------------|
| А/П.1 | Активность/посещаемость | 6    | Опрос на консультации по текущему выполнению КП | 5              |
| А/П.2 | Активность/посещаемость | 6    | Опрос на консультации по текущему выполнению КП | 9              |
| А/П.3 | Активность/посещаемость | 6    | Опрос на консультации по текущему выполнению КП | 13             |
| А/П.4 | Активность/посещаемость | 6    | Опрос на консультации по текущему выполнению КП | 17             |
| КП.1  | Курсовая работа/проект  | 56   | Защита курсового проекта                        | 17             |
| З.1   | Зачет                   | 20   | Зачет с оценкой                                 | -              |

### **3.4. Рабочая программа учебной дисциплины** **Аналитические методы исследования изделий микроэлектроники и** **наноэлектроники**

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

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области аналитических методов исследований изделий микроэлектроники и наноэлектроники в составе электронных устройств и систем.

Задачами дисциплины являются рассмотрение и изучение аналитических методов исследований изделий микроэлектроники и наноэлектроники в составе электронных устройств и систем с учетом технических требований.

#### **3.4.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)**

##### **Требования к результатам освоения программы**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенций: проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования с применением современных средств и методов

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

**Знать:** основные тенденции и задачи научных исследований в области проектирования и конструирования систем на кристалле информационно-измерительными комплексами

**Уметь:** использовать современные информационно-измерительные комплексы для научных исследований в области проектирования и конструирования систем на кристалле

**Приобрести практический опыт:** владеть информационно-измерительными комплексами как средствами повышения точности и снижения затрат исследования

### 3.4.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемкос-<br>ть, часы | Контактная работа |                |                                  |                                      | Самостоятель-<br>ная работа,<br>час | Промежуточ-<br>ная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекции,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы, час | Практичес-<br>кие<br>занятия,<br>час |                                     |                                  |
| 58                               | 48                |                | 16                               | 32                                   |                                     | Экз (10)                         |

### 3.4.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №    | Наименование<br>разделов и тем                                                                            | Всего, час | Контактная работа |                         |                         | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|      |                                                                                                           |            | Лекции            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>занятия |                                     |
| 1.   | Методы исследования изделий микроэлектроники и нанoeлектроники. Растровая электронная микроскопия         | 14         |                   | 10                      | 4                       |                                     |
| 1.1  | Микроэлектроника и основные пути ее развития в России и за рубежом. Переход от микро - к нанoeлектронике. |            |                   | 2                       |                         |                                     |
| 1.2. | Моделирование в среде TCAD.                                                                               |            |                   | 2                       |                         |                                     |
| 1.3. | Моделирование и проектирование                                                                            |            |                   | 2                       |                         |                                     |

|      |                                                                                                                    |    |  |    |   |  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|----|---|--|
|      | технологий<br>изделий<br>микроэлектроники                                                                          |    |  |    |   |  |
| 1.4  | Введение в среду<br>SolidWorks.                                                                                    |    |  | 2  |   |  |
| 2.   | Элементные и<br>химические<br>методы<br>исследования<br>изделий<br>микроэлектроники<br>и нанoeлектроники           | 10 |  | 6  | 4 |  |
| 2.1. | Тепловые изделия:<br>моделирование и<br>проектирование.                                                            |    |  |    |   |  |
| 2.2. | Приборы для<br>измерения<br>ускорения<br>линейного и<br>углового.<br>Моделирование и<br>проектирование<br>изделий. |    |  |    |   |  |
| 3.   | Структурные<br>методы<br>исследований                                                                              | 10 |  | 6  | 4 |  |
| 3.1. | Введение в среду<br>COMSOL.                                                                                        |    |  |    |   |  |
| 3.2. | Вакуумная<br>нанoeлектроника.<br>Моделирование и<br>проектирование<br>изделий                                      |    |  |    |   |  |
| 4    | Другие методы<br>исследования и<br>анализа изделий<br>микроэлектроники                                             | 14 |  | 10 | 4 |  |

|                                                                       |                   |    |  |    |    |  |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|----|--|----|----|--|
|                                                                       | и нанoeлектроники |    |  |    |    |  |
| 5                                                                     | Экзамен           | 10 |  |    |    |  |
|                                                                       | Всего             | 58 |  | 32 | 16 |  |
| Итоговая аттестация: Итоговый тест, комплекс разработанных материалов |                   |    |  |    |    |  |

### 3.4.5. Содержание дисциплины

#### **Раздел 1. Методы исследования изделий микроэлектроники и нанoeлектроники. Растровая электронная микроскопия (10 часов)**

Тема 1.1. Современное состояние, роль электроники в мире. Основные проблемы в электронике. Аналитические методы исследований. Методы межоперационного контроля

Тема 1.2. Взаимодействие первичного электронного пучка с образцом. Возникающие вторичные сигналы.

Тема 1.3. Формирование первичного электронного пучка в электронной колонне. Типы вакуумных насосов

Тема 1.4. Растровая электронная микроскопия. Измерение линейных размеров.

Тема 1.5. Фокусированный ионный пучок, выполнение поперечных срезов

#### **Раздел 2. Элементные и химические методы исследования изделий микроэлектроники и нанoeлектроники (6 часов)**

Тема 2.1. Рентгеновский микроанализ.

Тема 2.2. Электронная оже спектроскопия.

Тема 2.3. Вторично ионная масс спектроскопия. Статический и динамический ВИМС

#### **Раздел 3. Структурные методы исследований (6 часов)**

Тема 3.1. Структурные методы исследований. Дифракция отраженных электронов.

Тема 3.2. Рентгеновская дифрактометрия.

Тема 3.3. Просвечивающая электронная микроскопия. Режим микродифракции. Приготовление образцов.

#### **Раздел 4. Другие методы исследования и анализа изделий микроэлектроники и нанoeлектроники (10 часов)**

Тема 4.1. Эллипсометрия. Магнитооптический метод Керра

Тема 4.2. Методы измерения электрических характеристик тестовых структур и изделий микроэлектроники и нанoeлектроники.

Тема 4.3. Атомно силовая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Контактная профилометрия.

Тема 4.4. Практическое применение аналитических методов исследования изделий микроэлектроники и нанoeлектроники.

Тема 4.5. Комбинации аналитических методов исследования.

### Перечень практических занятий

| Номер темы | Наименование практического занятия                                                                                                                   | Кол-во часов |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1        | Современное состояние, роль электроники в мире. Основные проблемы в электронике. Аналитические методы исследований. Методы межоперационного контроля | 2            |
| 1.2        | Взаимодействие первичного электронного пучка с образцом. Возникающие вторичные сигналы.                                                              | 2            |
| 1.3        | Формирование первичного электронного пучка в электронной колонне. Типы вакуумных насосов                                                             | 2            |
| 1.4        | Растровая электронная микроскопия. Измерение линейных размеров                                                                                       | 2            |
| 1.5        | Фокусированный ионный пучок, выполнение поперечных срезов                                                                                            | 2            |
| 2.1        | Рентгеновский микроанализ.                                                                                                                           | 2            |
| 2.2        | Электронная оже спектроскопия                                                                                                                        | 2            |
| 2.3        | Вторично ионная масс спектроскопия. Статический и динамический ВИМС                                                                                  | 2            |
| 3.1        | Структурные методы исследований. Дифракция отраженных электронов                                                                                     | 2            |
| 3.2        | Рентгеновская дифрактометрия                                                                                                                         | 2            |
| 3.3        | Просвечивающая электронная микроскопия. Режим микродифракции. Приготовление образцов                                                                 | 2            |
| 4.1        | Эллипсометрия. Магнитооптический метод Керра                                                                                                         | 2            |
| 4.2        | Методы измерения электрических характеристик тестовых структур и изделий микроэлектроники и нанoeлектроники                                          | 2            |
| 4.3        | Атомно силовая микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Контактная профилометрия                                                             | 2            |
| 4.4        | Практическое применение аналитических методов                                                                                                        | 2            |

|     |                                                         |   |
|-----|---------------------------------------------------------|---|
|     | исследования изделий микроэлектроники и нанoeлектроники |   |
| 4.5 | Комбинации аналитических методов исследования           | 2 |

### Перечень лабораторных работ

| Номер темы | Наименование практического занятия                                 | Кол-во часов |
|------------|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.4        | Атомно силовая и туннельная микроскопия                            | 4            |
| 2.2        | Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ      | 4            |
| 3.2        | Рентгеновская дифрактометрия и эллипсометрия.                      | 4            |
| 4.1        | Электронная оже спектроскопия и вторично ионная масс спектроскопия | 4            |

### 3.4.6. Перечень учебной литературы

1. 620.3 - Н-254 Нанотехнологии в электронике [Текст] . Вып. 3 / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2015. - 480 с. - (Мир электроники). - ISBN 978-5-94836-422-3
2. Нанoeлектроника : теория и практика [Электронный ресурс] : Учебник / В.Е. Борисенко [и др.]. - 4-е изд., электронное. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 369 с. - (Учебник для высшей школы). - Доступ к электронной версии книги открыт на сайте <https://e.lanbook.com/>. - ISBN 978-5-9963-2943-4.
3. 537.6(075.8) - П-576 Попков А.Ф. Физические основы магнетизма и спинowego транспорта в устройствах магнитной электроники [Текст] : Учеб. пособие / А.Ф. Попков, М.Н. Журавлев; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2014. - 260 с. - Имеется электронная версия издания. - ISBN 978-5-7256-0758-1
4. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Электронный ресурс] : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - 3-е изд., электронное. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 400 с. - Доступ к электронной версии книги открыт на сайте <https://e.lanbook.com/>.
5. 621.3.049.77(075.8) - К-68 Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Текст] : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их

математического моделирования / М.А. Королев, [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с. - Изд. выполнено в рамках инновац. образоват. программы МИЭТ "Соврем. проф. образование для рос. инновац. системы в области электроники". - ISBN 978-5-94774-583-2; 978-5-94774-585-6 : Ссылка на ресурс: <http://e.lanbook.com/view/book/42629/>

6. 621.3.049.77 - К-43 Киреев В.Ю. Введение в технологии микроэлектроники и нанотехнологии [Текст] / В.Ю. Киреев. - М. : ФГУП ЦНИИХМ, 2008. - 432 с. - ISBN 978-5-904586-01-0 :

7. 620.3(075.8) - М-641 Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии [Текст] : Учеб. пособие / В.Л. Миронов. - М. : Техносфера, 2004. - 144 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 5-94836-034-2

### 3.4.7. Информационные ресурсы

Корпоративная информационно-технологическая платформа ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>).

### 3.4.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий | Вид занятия         | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                      |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мультимедийная аудитория                                         | Лекции,             | Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска<br>ПО: Microsoft Power Point, Word; Adobe Reader |
| Компьютерный класс                                               | лабораторные работы | САПР Synopsys, специализированные библиотеки                                                             |

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

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система. Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия (в сумме 60 баллов), экзамен (40 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по дисциплине за семестр.

Оценка качества освоения программы осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в конце изучения дисциплины.

Зачет с оценкой оценивается по 5-бальной системе. Критерии выставления баллов приведены далее:

| №<br>п/п | Критерии оценки ответов                                                                                                                                                                        | Балл<br>(оценка) |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1        | Дано краткое текстовое описание системы или процесса из вопроса, рисунки или схемы не приведены                                                                                                | 3                |
| 2        | Дано подробное текстовое описание системы или процесса из вопроса с подробными рисунками или схемами.                                                                                          | 4                |
| 3        | Дано подробное текстовое описание системы или процесса из вопроса с подробными рисунками или схемами. Описаны достоинства и недостатки эффекта или процесса из вопроса в сравнении с аналогами | 5                |

### **3.5. Рабочая программа учебной дисциплины «Проектирование аналоговых ИС»**

#### **3.5.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является формирование знаний в области проектирования аналоговых интегральных схем для современных микроэлектронных систем.

В задачи изучаемой дисциплины входит:

- изучение особенностей моделей транзисторов при малосинусном анализе;
- изучение принципов работы основных схмотехнических аналоговых элементов;
- освоение этапов схмотехнического проектирования аналоговых схем;
- формирование навыков схмотехнического проектирования по заданным параметрам с использованием автоматизированных программных средств моделирования САПР Synopsys;
- формирование навыков по исследованию характеристик аналоговых элементов и определению параметров, характеризующих их работу.

#### **3.5.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)**

##### **Требования к результатам освоения программы**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенции: проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств

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

**Знать:** схмотехнические решения основных аналоговых блоков

**Уметь:** проектировать функциональные аналоговые блоки с учетом технического задания

**Приобрести практический опыт:** моделирования средствами САПР Synopsys и анализа параметров функциональных аналоговых блоков

### 3.5.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                |                                     |                                      | Самостоятель-<br>ная работа,<br>час | Промежуточ-<br>ная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекции,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы,<br>час | Практичес-<br>кие<br>занятия,<br>час |                                     |                                  |
| 121                              | 58                | 16             | 16                                  | 16                                   |                                     | Экз (10)                         |
|                                  | 63                | 16             |                                     |                                      | 32                                  | Экз (10)<br>ЗаО(5)               |

### 3.5.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №    | Наименование<br>разделов и тем                                                   | Всего, час | Контактная работа |                           |                           | Самостоятел-<br>ьная работа,<br>час |
|------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|      |                                                                                  |            | Лекции            | Практически-<br>е занятия | Лабораторны-<br>е занятия |                                     |
| 1.   | Введение.<br>Малосигнальные<br>эквивалентные<br>схемы.                           |            |                   |                           |                           |                                     |
| 1.1  | Дифференциальны-<br>е проводимости<br>биполярного и<br>полевого<br>транзисторов. | 2          | 2                 |                           |                           |                                     |
| 1.2. | Малосигнальные<br>эквивалентные<br>схемы<br>биполярного<br>транзистора.          | 4          | 2                 | 2                         |                           |                                     |
| 1.3. | Малосигнальные<br>эквивалентные<br>схемы полевого<br>транзистора.                | 6          | 2                 | 2                         | 4                         |                                     |
| 2.   | Аналоговые<br>функциональные<br>элементы                                         |            |                   |                           |                           |                                     |

|      |                                                          |     |    |    |    |    |
|------|----------------------------------------------------------|-----|----|----|----|----|
| 2.1. | Источники постоянного тока. Токовые зеркала.             | 10  | 2  | 4  | 4  |    |
| 2.2. | Источники опорного напряжения. Схемотехнические решения. | 2   | 2  |    |    |    |
| 2.3. | Усилительные каскады по напряжению.                      | 12  | 4  | 4  | 4  |    |
| 2.4. | Дифференциальные усилители.                              | 12  | 4  | 4  | 4  |    |
| 3    | Аналоговые функциональные блоки                          |     |    |    |    |    |
| 3.1. | Операционные усилители.                                  | 4   | 4  |    |    |    |
| 3.2. | Компараторы напряжения.                                  | 2   | 2  |    |    |    |
| 3.3. | Фильтры.                                                 | 2   | 2  |    |    |    |
| 3.4. | Аналоговые умножители.                                   | 2   | 2  |    |    |    |
| 3.5. | Фазовые детекторы.                                       | 2   | 2  |    |    |    |
| 3.6. | Генераторы управляемые напряжением                       |     | 2  |    |    |    |
| 3.7. | Схемы фазовой автоподстройки частоты                     | 2   | 2  |    |    |    |
| 4.   | Итоговая аттестация: Теоретический опрос.                | 20  |    |    |    |    |
| 5    | Курсовое проектирование                                  | 37  |    |    |    | 32 |
|      | Всего                                                    | 121 | 32 | 16 | 16 |    |

### **3.5.5. Содержание дисциплины**

#### **Раздел 1. Введение. Малосигнальные эквивалентные схемы. (6 часов)**

Тема 1.1. Введение. Функции, реализуемые аналоговыми элементами. Особенности аналоговых схем.  $h$ -параметры четырехполюсника. Дифференциальные проводимости биполярных и полевых транзисторов.

Тема 1.2. Малосигнальные эквивалентные схемы биполярных транзисторов при включении с ОЭ, ОБ, ОК. Определение коэффициента усиления по напряжению, входной и выходной дифференциальных проводимостей.

Тема 1.3. Малосигнальные эквивалентные схемы полевых транзисторов при включении с ОИ, ОЗ, ОС. Определение коэффициента усиления по напряжению, входной и выходной дифференциальных проводимостей.

#### **Раздел 2. Аналоговые функциональные элементы. (12 часов)**

Тема 2.1. Источники постоянного тока и основные параметры. Токовые зеркала. Разновидности схемотехнических реализаций. Методы стабилизации тока.

Тема 2.2. Источники опорного напряжения и основные параметры. Схемотехнические решения построения ИПН. Температурная стабилизация.

Тема.2.3. Принципы построения усилительных каскадов и основные параметры..Определение линейного участка передаточной характеристики и выбор рабочей точки. Разновидности усилительных каскадов. Способы улучшения параметров.

Тема 2.4. Передаточная характеристика дифференциальной пары транзисторов. Причины возникновения напряжения смещения. Дифференциальные проводимости дифференциального каскада. Особенности проектирования дифференциального каскада и его разновидности.

#### **Раздел 3. Аналоговые функциональные блоки. (16 часов)**

Тема 3.1. Операционные усилители. Операционные усилители. Основные определения. Способы включения. Структурная схема. Преобразование сопротивления ОУ, включенного в режиме повторителя. Классификация входных и выходных каскадов ОУ. Примеры выполнения операционных усилителей на биполярных и полевых транзисторах. Амплитудно-частотная характеристика ОУ. Определение частоты единичного усиления. Устойчивость ОУ. Коррекция частотной характеристики. Определение частоты  $f_{180^\circ}$ . Определение запаса по фазе. Применения ОУ.

Тема 3.2. Компараторы напряжения. Определение параметров. Компаратор с положительной обратной связью. Реализация компаратора на биполярных и МОП транзисторах. Компаратор напряжения на переключаемом конденсаторе.

Тема.3.3. Фильтры. Классификация. Активные фильтры. Преобразователи отрицательного полного сопротивления и гираторы.

Тема 3.4. Аналоговые умножители. Балансные смесители. Ячейка Гильберта. Функциональные решения на основе ячейки Гильберта.

Тема 3.5. Фазовые детекторы. Классификация. Схемотехнические решения и передаточные характеристики.

Тема 3.6. Генератор, управляемый напряжением. Параметры. Классификация. Схемотехнические решения.

Тема 3.7. Схемы Фазовой автоподстройки частоты. Параметры. Линеаризованный малосигнальный анализ. Применение: синтезатор частот, детектор, преобразователь частоты, схемы синхронизации и восстановления сигналов тактовых импульсов.

### Перечень практических занятий

| Номер темы | Наименование практического занятия                                                                                                                                    | Кол-во часов |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1, 1.2   | Дифференциальные проводимости биполярных транзисторов. Малосигнальные эквивалентные схемы биполярных транзисторов при включении с ОЭ, ОБ, ОК. Определение параметров. | 2            |
| 1.1, 1.3   | Дифференциальные проводимости полевых транзисторов. Малосигнальные эквивалентные схемы полевых транзисторов при включении с ОИ, ОЗ, ОС. Определение параметров.       | 2            |
| 2.1        | Эквивалентные малосигнальные схемы и расчет параметров источников тока на биполярных транзисторах.                                                                    | 2            |
| 2.1        | Эквивалентные малосигнальные схемы и расчет параметров источников тока на полевых транзисторах.                                                                       | 2            |
| 2.3        | Эквивалентные малосигнальные схемы и расчет параметров усилительных каскадов на биполярных транзисторах.                                                              | 2            |
| 2.3        | Эквивалентные малосигнальные схемы и расчет параметров усилительных каскадов на биполярных транзисторах.                                                              | 2            |
| 2.4        | Расчет параметров дифференциальных усилителей на биполярных транзисторах.                                                                                             | 2            |
| 2.4        | Расчет параметров дифференциальных усилителей на полевых транзисторах.                                                                                                | 2            |

### Перечень лабораторных работ

| Номер темы    | Наименование практического занятия                                                                                  | Кол-во часов |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1.,<br>1.3. | Моделирование и исследование характеристик полевого транзистора с учетом модуляции длины канала и влияния подложки. | 4            |
| 2.1.          | Проектирование и исследование характеристик источника постоянного тока с заданными параметрами.                     | 4            |
| 2.3.          | Проектирование и исследование характеристик усилительного каскада с заданными параметрами.                          | 4            |
| 2.4.          | Проектирование и исследование характеристик дифференциального усилителя с заданными параметрами.                    | 4            |

### Примерная тематика курсовых проектов

Название: «Проектирование операционного усилителя».

Цель: Спроектировать двухкаскадный ОУ с использованием заданного типа ДУ и следующих параметров: напряжения питания, нагрузочной емкости, потребляемой мощности и норм технологического проектирования.

Задание

1. Подобрать транзисторы дифференциальной пары для работы на заданном токе смещения.
2. Выполнить DC-анализ ДУ, соответствующего варианту задания, и определить синфазное напряжение
3. Получить АЧХ ДУ и выполнить параметрическую оптимизацию размеров транзисторов для получения максимального коэффициента усиления. Определить коэффициент усиления, полосу пропускания, частоту единичного усиления
4. Разработать схему двухкаскадного ОУ, используя разработанный ДУ и второй каскад. Выполнить DC-анализ и определить напряжения: синфазное входное и выходное.
5. Получить АЧХ и ФЧХ ОУ.
6. Выполнить коррекцию АЧХ с помощью емкости Миллера, обеспечив заданный запас по фазе и определить коэффициент усиления, полосу пропускания, частоту единичного усиления, запас по усилению и по фазе.
7. Исследовать работоспособность ОУ при изменении дестабилизирующих факторов: напряжения питания, температуры от  $-45^{\circ}$  до  $+85^{\circ}$  и параметрах моделей SS, TT, FF.
8. Получить переходную характеристику ОУ, включенного в режиме повторителя. Определить время нарастания и спада, скорость нарастания.

9. Провести моделирование по исследованию влияния источника напряжения питания и определить PSRR.
10. Выполнить топологическое проектирование ОУ в соответствии с топологическими нормами для технологии 90 нм.

### **3.5.6. Перечень учебной литературы**

- 1 621.3.049.77(075.8) - О-60 Ю.Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров Аналоговая и цифровая электроника. – Под ред. О.П. Глудкина. - М. : Горячая линия-Телеком, 2007. - 768 с.
- 2 621.382 X-80 П.Хоровиц, У.Хилл « Искусство схемотехники». Пер. с англ. - 7-е изд. - М. : БИНОМ, 2014. - 704 с
3. 621.3.049.77(075.8) - М-615 А.А.Миндеева Элементная база аналоговых схем. - НИУ "МИЭТ". - М. МИЭТ, 2015. - 224 с.
4. 621.3.049.77(075.8) - Э-666 Эннс В.И., Кобзев Ю.М. Проектирование аналоговых КМОП - микросхем. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 454 с
5. 621.391(075.8) - Т-417 Тимошенко, А.А. Миндеева Элементная база систем связи [Текст] : Учеб. пособие / В.П.; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2015. - 224 с. - Имеется электронная версия издания.
6. 621.3.049.77(075.8) - Б-249 В. В. Баринов, Ю. В. Круглов, А. Г. Тимошенко Телекоммуникационные системы на кристалле: Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1: Основы схемотехники КМДП аналоговых ИМС - М. : МИЭТ, 2007. - 236 с.

### **Периодические издания**

1. Известия ВУЗов «Электроника».
2. Радиотехника и электроника.
3. Микроэлектроника Издательство «Наука»

### **Перечень ресурсов сети интернет**

1. Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com))
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>)
3. ЭБС издательства Лань - <http://e.lanbook.com/>
4. Научная электронная библиотека Springer <http://link.springer.com/>
- 6 База данных компании Elsevier на платформе Scopus <http://www.scopus.com/>
- 7 B.Razavi Design of Analog CMOS Integrated Circuits. 2000, 684 p., <http://www.google.ru>
- 8 P.P. Gray, P.G. Hurst, S.H. Lewis, R.G. Meyer Analysis and Design of Analog Integrated Circuits. 2001, 4<sup>th</sup> edition, 875 p., <http://www.google.ru>

### **3.5.7. Информационные ресурсы**

Корпоративная информационно-технологическая платформа ОРИОКС  
(<http://orioks.miet.ru>).

### **3.5.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения интерактивных лекционных занятий по курсу требуется аудитория, оснащённая мультимедийным оборудованием.

Для выполнения лабораторных работ по проектированию аналоговых схем требуется компьютерный класс, рассчитанный на 20 рабочих мест. Каждое рабочее место должно быть оборудовано персональным компьютером с установленной ОС Linux и набором ПО САПП Synopsys (пакеты HSpice, CustomDesigner, WaveViewer, DesignCompiler, IC Compiler, VCS, PowerCompiler).

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

Для оценки успеваемости обучающихся по дисциплине используется балльная накопительная система.

Оценка качества освоения программы включает итоговую аттестацию обучающихся в форме экзамена.

Слушатель считается аттестованным, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- владеет методами и средствами решения задач;
- может последовательно изложить материал курса;
- умеет формулировать обобщения по теме вопросов;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче экзамена .

### **3.6. Рабочая программа учебной дисциплины** **Маршрут проектирования ЦИС. Логическое проектирование**

#### **3.6.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области маршрута проектирования полужаказных ЦИС на этапе логического синтеза, включая учет в маршруте проектирования проектных ограничений и условий функционирования..

Задачами дисциплины являются:

1. Изучение особенностей маршрутов проектирования на основе библиотек стандартных ячеек.
2. Знакомство с основами Verilog HDL для синтеза ЦИС
3. Введение в автоматизированный логический синтез с использованием САПР Synopsys
4. Изучение проектных ограничений и роль условий функционирования на этапе логического синтеза
5. Пример реализации маршрута логического синтеза с использованием учебных библиотек 32/28 и 90 нм

#### **3.6.2. Требования к результатам обучения**

Формируемая профессиональная компетенция – проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств на логическом уровне

В результате освоения данной программы слушатель должен:

***Знать:***

- программные средства САПР SYNOPSYS для логического проектирования и синтеза;
- особенности логического синтеза цифровых СБИС и СнК на основе библиотек стандартных ячеек.

***Уметь*** использовать программные средства САПР SYNOPSYS для логического синтеза;

***Иметь практический опыт*** в области логического проектирования цифровых СБИС и СнК на основе библиотек стандартных ячеек.

### 3.6.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                     |                                     |                                   | Самостоя-<br>тельная<br>работа,<br>час | Промежуто-<br>чная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекц-<br>ии,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы,<br>час | Практически-<br>е занятия,<br>час |                                        |                                  |
| 58                               | 48                | 16                  | 32                                  | -                                 | -                                      | 10 (экзамен)                     |

### 3.6.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №   | Наименование<br>разделов и тем                                       | Всего, час | Контактная работа |                           |                              | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|-----|----------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
|     |                                                                      |            | Лекции            | Практически-<br>е занятия | Лаборатор-<br>ные<br>занятия |                                     |
| 1.  | Маршруты проектирования на основе логического синтеза                | 24         | 8                 | 0                         | 16                           | 0                                   |
| 1.1 | Маршрут проектирования цифровых ИС на основе HDL                     | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 1.2 | Обобщенный маршрут логического синтеза в САПР Synopsys               | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 1.3 | Принципы создания синтезопригодного описания на основе языка Verilog | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 1.4 | Проектные ограничения (Design Constraints) и принципы их установки   | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 2.  | Анализ на этапе                                                      | 24         | 8                 | 0                         | 16                           | 0                                   |

|                              |                                                                                       |    |    |   |    |   |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|----|---|
|                              | логического синтеза<br>САПР Synopsys                                                  |    |    |   |    |   |
| 2.1                          | Атрибуты окружения<br>проекта (Operating<br>Conditions, WLM-<br>модели, Design Rules) | 6  | 2  | 0 | 4  | 0 |
| 2.2                          | Синтез с интеграцией<br>методик<br>энергоэффективного<br>проектирования               | 6  | 2  | 0 | 4  | 0 |
| 2.3                          | Статический временной<br>анализ                                                       | 6  | 2  | 0 | 4  | 0 |
| 2.4                          | Тестовые оболочки и<br>генераторы входных<br>последовательностей.                     | 6  | 2  | 0 | 4  | 0 |
| 3.                           | Экзамен                                                                               | 10 | 0  | 0 |    |   |
|                              | Всего                                                                                 | 58 | 16 | 0 | 32 | 0 |
| Итоговая аттестация: экзамен |                                                                                       |    |    |   |    |   |

### 3.6.5. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Маршруты проектирования на основе логического синтеза

Тема 1.1 Маршрут проектирования цифровых ИС на основе HDL Маршруты проектирования на основе логического синтеза. Маршрут проектирования цифровых ИС на основе библиотек стандартных ячеек. Структура и состав библиотеки стандартных ячеек.

Тема 1.2 Обобщенный маршрут логического синтеза в САПР Synopsys Логический синтез в САПР Synopsys. Подготовка проекта к логическому синтезу. Управление библиотекой и модулями проекта.

Тема 1.3 Принципы создания синтезопригодного описания на основе языка Verilog Правила проектирования.

Тема 1.4 Проектные ограничения (Design Constraints) и принципы их установки Ограничения оптимизации. Модель окружения проекта. Модель системы синхронизации проекта.

#### Раздел 2. Анализ на этапе логического синтеза САПР Synopsys

Тема 2.1 Атрибуты окружения проекта (Operating Conditions, WLM-модели, Design Rules) Модели цепей межсоединений.

Тема 2.2 Синтез с интеграцией методик энергоэффективного проектирования Логический синтез и оптимизация проекта.

Тема 2.3 Статический временной анализ. Отчеты о результатах синтеза. Статический временной анализ.

Тема 2.4 Тестовые оболочки и генераторы входных последовательностей.  
Принципы автоматического тестирования ИС. Синтез тестовых структур.

### **Перечень лабораторных работ**

| Номер темы | Наименование практического занятия                                                | Кол-во часов |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1        | Введение и основные понятия процесса логического синтеза средствами САПР Synopsys | 4            |
| 1.2        | Синтез простейших проектов с использованием графического интерфейса САПР Synopsys | 4            |
| 1.3        | Управление иерархией проекта                                                      | 4            |
| 1.4        | Особенности синтеза поведенческих конструкций языка Verilog                       | 4            |
| 2.1        | Задание ограничений на проект (Design Constraints)                                | 4            |
| 2.2        | Атрибуты окружения проекта (Operating Conditions, WLM-модели, Design Rules)       | 4            |
| 2.3        | Статический временной анализ                                                      | 4            |
| 2.4        | Реализация маршрута синтеза с помощью скриптов                                    | 4            |

### **3.6.6. Перечень учебной литературы**

1. Справочная документация на ПО Synopsys
2. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне [Текст] / Б. П. Вонг [и др.]; Пер. с англ. К.В. Юдинцева. - М. : Техносфера, 2014. - 432 с.
3. Харрис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. - 2-е изд. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 770 с.

### **3.6.7. Информационные ресурсы**

1. Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)),
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>),
3. Издательство Springer (<http://springerlink.com>).

### 3.6.8. Материально-технические условия реализации программы

| Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий | Вид занятия         | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                      |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мультимедийная аудитория                                         | Лекции,             | Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска<br>ПО: Microsoft Power Point, Word; Adobe Reader |
| Компьютерный класс                                               | лабораторные работы | САПР Synopsys, специализированные библиотеки                                                             |

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

Оценка качества освоения программы включает итоговую аттестацию обучающихся в форме экзамена.

Слушатель считается аттестованным, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- владеет методами и средствами решения задач;
- может последовательно изложить материал курса;
- умеет формулировать обобщения по теме вопросов;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче экзамена .

#### Структура и график контрольных мероприятий

| Шифр  | Тип КМ                  | Балл | Название КМ        | Учебная неделя |
|-------|-------------------------|------|--------------------|----------------|
| А/П.1 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 5              |
| ЛР.1  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 5              |
| А/П.2 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 9              |
| ЛР.2  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 9              |
| А/П.3 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 13             |
| ЛР.3  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 13             |
| А/П.4 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 17             |
| ЛР.4  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 17             |
| Э.1   | Экзамен                 | 36   | Экзамен            | -              |

### **3.7. Рабочая программа учебной дисциплины** **Моделирование в среде TCAD**

#### **3.7.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Цель дисциплины: изучение методов приборно-технологического моделирования различных элементов интегральных схем. В дисциплине рассматриваются вопросы разработки и моделирования технологических маршрутов создания элементов интегральных схем, методы создания двух и трехмерных моделей полупроводниковых приборов, модели для технологического и приборного моделирования, методы организации и обработки результатов расчетов.

#### **3.7.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)** **Требования к результатам освоения программы**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенций: проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств на приборно-технологическом уровне

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен:**

**Знать:** Модели, используемые для технологического и приборного моделирования.

**Уметь:** Рассчитывать характеристики полупроводниковых приборов средствами TCAD

**Приобрести практический опыт:** использование средств TCAD для расчета технологических маршрутов и электрических характеристик элементов интегральных схем

#### **3.7.3. Объем дисциплины и виды учебной работы**

| Общая трудоемкость, часы | Контактная работа |             |                          |                           | Самостоятельная работа, час | Промежуточная аттестация |
|--------------------------|-------------------|-------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
|                          | Всего, час        | Лекции, час | Лабораторные работы, час | Практические занятия, час |                             |                          |
| 53                       | 48                | 16          | 32                       | -                         | -                           | ЗаО(5)                   |

### 3.7.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №                                    | Наименование разделов и тем                                                                                                                    | Всего, час | Контактная работа |                      |                      | Самостоятельная работа, час |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
|                                      |                                                                                                                                                |            | Лекции            | Практические занятия | Лабораторные занятия |                             |
| 1.                                   | Введение в предмет курса. Роль приборно-технологического моделирования в проектировании интегральных микросхем. Структура пакета TCAD Synopsys | 4          | 4                 |                      |                      |                             |
| 2.                                   | Моделирование технологических процессов                                                                                                        | 14         | 6                 |                      | 8                    |                             |
| 3.                                   | Приборное моделирование элементов интегральных схем                                                                                            | 30         | 6                 |                      | 24                   |                             |
| 4                                    | Дифференцированный зачет                                                                                                                       | 5          |                   |                      |                      |                             |
|                                      | Всего                                                                                                                                          | 53         | 16                |                      | 32                   |                             |
| Итоговая аттестация: Зачет с оценкой |                                                                                                                                                |            |                   |                      |                      |                             |

### 3.7.5. Содержание дисциплины

**Раздел 1.** Введение в предмет курса. Роль приборно-технологического моделирования в проектировании интегральных микросхем. Структура пакета TCAD Synopsys (4 часа)

**Раздел 2.** Моделирование технологических процессов (14 часов)

**Раздел 3.** Приборное моделирование элементов интегральных схем (30 часов)

**Практические занятия не предусмотрены.**

**Перечень лабораторных работ**

| Номер темы | Наименование практического занятия                                                                                                                                                                          | Кол-во часов |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2          | Одномерное технологическое моделирование маршрута создания МОП-транзистора в основных вертикальных сечениях структуры                                                                                       | 4            |
| 2          | Двухмерное технологическое моделирование маршрута создания МОП-транзистора. Расчет основных электрических характеристик созданного прибора                                                                  | 4            |
| 3          | Создание двухмерной структуры полупроводникового прибора в интерактивной графической оболочке без использования технологического моделирования.                                                             | 4            |
| 3          | Создание трехмерной структуры КНИ-транзистора в интерактивной графической оболочке без использования технологического моделирования                                                                         | 4            |
| 3          | Расчет зависимостей коэффициента усиления базового тока и частоты единичного усиления от тока эмиттера двухмерного п-р-п-биполярного транзистора                                                            | 4            |
| 3          | Расчет АЧХ двухмерного п-р-п-биполярного транзистора                                                                                                                                                        | 4            |
| 3          | Сквозное технологическое и приборное моделирование п-МОП-транзистора в среде SWB.                                                                                                                           | 4            |
| 3          | Создание двухмерной структуры силового р-п-перехода с «плавающими» диффузионными кольцами без использования технологического моделирования или графических оболочек. Расчет ВАХ структуры в области пробоя. | 4            |

**3.7.6. Перечень учебной литературы**

1. Е.А. Артамонова, А.Г. Балашов, А.С. Ключников, А.В. Козлов, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов, А.В. Селецкий. Лабораторный практикум по курсу "Моделирование технологических процессов". Под редакцией доктора технических наук, проф. Т.Ю. Крупкиной. – М.: МИЭТ, 2018. – 108 с.
2. А.Г. Балашов, А.В. Козлов, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов. Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу "Маршруты БИС". Под редакцией Т.Ю. Крупкиной. – М.: МИЭТ, 2010. – 48 с.

3. Артамонова Е.А., Балашов А.Г., Ключников А.С., Красюков А.Ю., Поломошнов С.А. Под ред. Крупкиной Т.Ю. Лабораторный практикум по курсу «Моделирование в среде TCAD». Ч.1 Введение в приборно-технологическое моделирование М.: МИЭТ, 2009.

4. Артамонова Е.А., Балашов А.Г., Ключников, А.В., Козлов, Красюков А.Ю. Лабораторный практикум по курсу "Моделирование в среде TCAD". Часть 2. Приборно-технологическое моделирование элементов интегральных схем / Под редакцией Т.Ю. Крупкиной. – М.: МИЭТ, 2012. – 140 с.

### **3.7.7. Информационные ресурсы**

1. Сайт компании Synopsys, посвященный TCAD [Электронный ресурс] URL: <https://silicondesign.search.synopsys.com/?i=1;q1=Webinar;sort=pageDate;x1=assetType>(дата обращения 19.02.2020).

1. Журнал TCAD News [Электронный ресурс] URL: <https://silicondesign.search.synopsys.com/?i=1;q1=Webinar;sort=pageDate;x1=assetType>(дата обращения 19.02.2020).

1. Статья в журнале Russian Electronics [Электронный ресурс] URL: <http://www.russianelectronics.ru/engineer-r/review/2327/doc/48316/> (дата обращения 19.02.2020).

### **3.7.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лабораторные работы проводятся в специализированном компьютерном классе на 20 рабочих мест, оснащенный высокопроизводительными рабочими станциями и лицензионным программным обеспечением Sentaurus TCAD компании Synopsys

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

Оценка качества освоения программы осуществляется в форме зачета с оценкой. Допуском к зачету является выполнение и защита всех лабораторных работ. Зачет проводится в конце изучения дисциплины. Вопросы к зачету приведены далее:

1. Основные модели диффузии примеси, используемые в технологическом моделировании и их параметры
2. Основные модели окисления кремния, используемые в технологическом моделировании и их параметры
3. Основные модели для ионной имплантации и их параметры

5. Граничные условия для моделирования диффузии и окисления
6. Основные уравнения для приборного моделирования
7. Модели подвижности и их параметры
8. Модели рекомбинации-генерации и их параметры
9. Модели для описания свойства границы раздела материалов и их параметры
10. Модели для накопления заряда в диэлектрике и их параметры
13. Влияние сетки на результаты моделирования
14. Методы ускорения расчетов при трехмерном моделировании
15. Особенности расчета пробивного напряжения силовых полевых и биполярных транзисторов

Зачет с оценкой оценивается по 5-бальной системе. Критерии выставления баллов приведены далее:

| №<br>п/п | Критерии оценки ответов                                                                                                                                                                        | Балл<br>(оценка) |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1        | Дано краткое текстовое описание системы или процесса из вопроса, рисунки или схемы не приведены                                                                                                | 3                |
| 2        | Дано подробное текстовое описание системы или процесса из вопроса с подробными рисунками или схемами.                                                                                          | 4                |
| 3        | Дано подробное текстовое описание системы или процесса из вопроса с подробными рисунками или схемами. Описаны достоинства и недостатки эффекта или процесса из вопроса в сравнении с аналогами | 5                |

### **3.8. Рабочая программа учебной дисциплины** **Элементный базис нано- и микросистемной техники**

#### **3.8.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области элементного базиса нано- и микросистемной техники средствами современных САПР.

Задачами дисциплины являются рассмотрение и изучение методов проектирования элементного базиса нано- и микросистемной техники с учетом заданных требований, и обучение соответствующим методикам магистров в области проектирования наноразмерных СБИС.

#### **3.8.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)** **Требования к результатам освоения программы**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенций: проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств.

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

**Знать:** основные тенденции и задачи научных исследований в области проектирования и конструирования систем на кристалле

**Уметь:** применять средства САПР для моделирования и анализа элементного базиса нано- и микросистемной техники

**Приобрести практический опыт:** владеть современными средствами исследования для разработки элементного базиса нано- и микросистемной техники

### 3.8.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                |                                  |                                      | Самостояте-<br>льная работа,<br>час | Промежуточ-<br>ная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекции,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы, час | Практичес-<br>кие<br>занятия,<br>час |                                     |                                  |
| 37                               | 32                |                | 16                               | 16                                   |                                     | ЗаО (5)                          |

### 3.8.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №    | Наименование<br>разделов и тем                                                                            | Всего, час | Контактная работа |                         |                         | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|      |                                                                                                           |            | Лекции            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>занятия |                                     |
| 1.   | Датчики на основе анизотропного магниторезистивного эффекта                                               |            |                   | 8                       | 6                       |                                     |
| 1.1  | Микроэлектроника и основные пути ее развития в России и за рубежом. Переход от микро - к наноэлектронике. |            |                   | 2                       |                         |                                     |
| 1.2. | Моделирование в среде TCAD.                                                                               |            |                   | 2                       |                         |                                     |
| 1.3. | Моделирование и проектирование технологий изделий микроэлектроники                                        |            |                   | 2                       |                         |                                     |

|                                                                       |                                                                                               |    |  |    |    |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|----|----|-----|
| 1.4                                                                   | Введение в среду SolidWorks.                                                                  |    |  | 2  |    |     |
| 2.                                                                    | Датчики на основе терморезистивного эффекта                                                   |    |  | 4  | 6  |     |
| 2.1.                                                                  | Тепловые изделия: моделирование и проектирование.                                             |    |  |    |    |     |
| 2.2.                                                                  | Приборы для измерения ускорения линейного и углового. Моделирование и проектирование изделий. |    |  |    |    |     |
| 3.                                                                    | Датчики на основе полевого эффекта                                                            |    |  | 4  | 4  |     |
| 3.1.                                                                  | Введение в среду COMSOL.                                                                      |    |  |    |    |     |
| 3.2.                                                                  | Вакуумная наноэлектроника. Моделирование и проектирование изделий                             |    |  |    |    |     |
| 4                                                                     | Дифференцированный зачет                                                                      | 5  |  |    |    |     |
|                                                                       | Всего                                                                                         | 37 |  | 16 | 16 |     |
| Итоговая аттестация: Итоговый тест, комплекс разработанных материалов |                                                                                               |    |  |    |    | Зао |

### 3.8.5. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Датчики на основе анизотропного магниторезистивного эффекта (8 часов)

Тема 1.1. Микроэлектроника и основные пути ее развития в России и за рубежом. Переход от микро - к наноэлектронике.

Тема 1.2. Моделирование в среде TCAD.

Тема 1.3. Моделирование и проектирование технологий изделий микроэлектроники.

Тема 1.4. Введение в среду SolidWorks.

## **Раздел 2. Датчики на основе терморезистивного эффекта (4 часа)**

Тема 2.1. Тепловые изделия: моделирование и проектирование.

Тема 2.2. Приборы для измерения ускорения линейного и углового. Моделирование и проектирование изделий.

## **Раздел 3. Датчики на основе полевого эффекта (4 часа)**

Тема 3.1. Введение в среду COMSOL..

Тема 3.2. Вакуумная наноэлектроника. Моделирование и проектирование изделий .

### **Перечень практических занятий**

| Номер темы | Наименование практического занятия                                                                        | Кол-во часов |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1        | Микроэлектроника и основные пути ее развития в России и за рубежом. Переход от микро - к наноэлектронике. | 2            |
| 1.2        | Моделирование в среде TCAD.                                                                               | 2            |
| 1.3        | Моделирование и проектирование технологий изделий микроэлектроники                                        | 2            |
| 1.4        | Введение в среду SolidWorks.                                                                              | 2            |
| 2.1        | Тепловые изделия: моделирование и проектирование.                                                         | 2            |
| 2.2        | Приборы для измерения ускорения линейного и углового. Моделирование и проектирование изделий.             | 2            |
| 3.1        | Введение в среду COMSOL.                                                                                  | 2            |
| 3.2        | Вакуумная наноэлектроника. Моделирование и проектирование изделий                                         | 2            |

### **Перечень лабораторных работ**

| Номер темы | Наименование практического занятия                                                               | Кол-во часов |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.3        | Экспериментальное исследование датчиков с анизотропным магниторезистивным эффектом: датчик тока. | 2            |
| 1.3        | Экспериментальное исследование датчиков с анизотропным                                           | 2            |

|     |                                                                                |   |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|---|
|     | магниторезистивным эффектом: датчик угла поворота, датчик оборотов.            |   |
| 1.3 | Разработка и корректировка схемотехнической модели магниторезистивных датчиков | 2 |
| 2.1 | Экспериментальное исследование тепловых датчиков расхода газа.                 | 2 |
| 2.1 | Экспериментальное исследование тепловых датчиков давления.                     | 2 |
| 2.2 | Разработка схемотехнической модели тепловых датчиков                           | 2 |
| 3.2 | Экспериментальное исследование автоэмиссионного триода.                        | 2 |
| 3.2 | Разработка схемотехнической модели автоэмиссионного триода                     | 2 |

### 3.8.6. Перечень учебной литературы

1. 620.3 - Н-254 Нанотехнологии в электронике [Текст] . Вып. 3 / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2015. - 480 с. - (Мир электроники). - ISBN 978-5-94836-422-3
2. Нанoeлектроника : теория и практика [Электронный ресурс] : Учебник / В.Е. Борисенко [и др.]. - 4-е изд., электронное. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 369 с. - (Учебник для высшей школы). - Доступ к электронной версии книги открыт на сайте <https://e.lanbook.com/>. - ISBN 978-5-9963-2943-4.
3. 537.6(075.8) - П-576 Попков А.Ф. Физические основы магнетизма и спинного транспорта в устройствах магнитной электроники [Текст] : Учеб. пособие / А.Ф. Попков, М.Н. Журавлев; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2014. - 260 с. - Имеется электронная версия издания. - ISBN 978-5-7256-0758-1
4. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Электронный ресурс] : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - 3-е изд., электронное. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 400 с. - Доступ к электронной версии книги открыт на сайте <https://e.lanbook.com/>.

5. 621.3.049.77(075.8) - К-68 Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Текст] : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А. Королев, [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с. - Изд. выполнено в рамках инновац. образоват. программы МИЭТ "Соврем. проф. образование для рос. инновац. системы в области электроники". - ISBN 978-5-94774-583-2; 978-5-94774-585-6 : Ссылка на ресурс: <http://e.lanbook.com/view/book/42629/>
6. 621.3.049.77 - К-43 Киреев В.Ю. Введение в технологии микроэлектроники и нанотехнологии [Текст] / В.Ю. Киреев. - М. : ФГУП ЦНИИХМ, 2008. - 432 с. - ISBN 978-5-904586-01-0 :
7. 621.3.049.77(075.8) - Д-954 Дюжев Н.А. (Автор МИЭТ, ПКИМС). Элементный базис нано- и микросистемной техники [Текст] : Учеб. пособие / Н.А. Дюжев, В.Ю. Киреев; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2019. - 140 с. - ISBN 978-5-7256-0924-0.

### **3.8.7. Информационные ресурсы**

Корпоративная информационно-технологическая платформа ОРИОКС  
(<http://orioks.miet.ru>).

### 3.8.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий | Вид занятия         | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                      |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мультимедийная аудитория                                         | Лекции,             | Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска<br>ПО: Microsoft Power Point, Word; Adobe Reader |
| Компьютерный класс                                               | лабораторные работы | САПР Synopsys, специализированные библиотеки                                                             |

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

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система. Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия (в сумме 70 баллов), зачёт (30 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по дисциплине за семестр.

Оценка качества освоения программы осуществляется в форме зачета с оценкой. Допуском к зачету является выполнение и защита всех лабораторных работ. Зачет проводится в конце изучения дисциплины.

Зачет с оценкой оценивается по 5-бальной системе. Критерии выставления баллов приведены далее:

| № п/п | Критерии оценки ответов                                                                               | Балл (оценка) |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1     | Дано краткое текстовое описание системы или процесса из вопроса, рисунки или схемы не приведены       | 3             |
| 2     | Дано подробное текстовое описание системы или процесса из вопроса с подробными рисунками или схемами. | 4             |
| 3     | Дано подробное текстовое описание системы или процесса из                                             | 5             |

|  |                                                                                                                                             |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | <p>вопроса с подробными рисунками или схемами. Описаны достоинства и недостатки эффекта или процесса из вопроса в сравнении с аналогами</p> |  |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

### **3.9. Рабочая программа учебной дисциплины** **Цифровое проектирование в среде Synopsys**

#### **3.9.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области методов проектирования цифровых энергосберегающих СБИС средствами современных САПР.

Задачами дисциплины являются рассмотрение и изучение методов проектирования субмикронных цифровых энергоэффективных СБИС с учетом заданных требований, и обучение соответствующим методикам магистров в области проектирования энергосберегающих наноразмерных СБИС.

Создание современных средств вычислительной техники и телекоммуникационной аппаратуры требует проектирования широкой номенклатуры цифровых и цифро-аналоговых СБИС. Успешные типовые проектные решения СБИС обеспечиваются знаниями в области функционирования интегральных микросхем, процессов синтеза блоков микросхем, автоматизированного моделирования и проектирования.

#### **3.9.2. Требования к результатам обучения**

Формируемая профессиональная компетенция – проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств и учетом энергопотребления

В результате освоения данной программы слушатель должен:

**Знать:** средства проектирования, расчета, моделирования и конструирования энергосберегающих цифровых схем на схемотехническом и физическом уровнях с использованием систем автоматизированного проектирования.

**Уметь** разрабатывать поведенческие модели с учетом требований по потребляемой мощности и необходимости интеграции в структуру схемы специализированных схемных решений;

**Иметь практический опыт** выбора проектных решений из существующих схемных решений по критерию энергоэффективности, а также проектирования, расчета, моделирования с использованием САПР Synopsys функционально-логического, схемотехнического и физического проектирования.

### 3.9.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                     |                                     |                                  | Самостоя-<br>тельная<br>работа,<br>час | Промежуто-<br>чная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекц-<br>ии,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы,<br>час | Практически<br>е занятия,<br>час |                                        |                                  |
| 115                              | 48                | 16                  | 32                                  | -                                | 32                                     | 10 экзамен<br>25 ЗаО             |

### 3.9.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №   | Наименование<br>разделов и тем                                                                                             | Всего, час | Контактная работа |                          |                              | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
|     |                                                                                                                            |            | Лекции            | Практически<br>е занятия | Лаборатор-<br>ные<br>занятия |                                     |
| 1.  | Проблемы масштабирования при цифровом проектировании                                                                       | 24         | 8                 | 0                        | 16                           | 0                                   |
| 1.1 | Масштабирование при проектировании субмикронных и наноразмерных цифровых СБИС                                              | 6          | 2                 | 0                        | 4                            | 0                                   |
| 1.2 | Взаимосвязь характеристик ЦИС (топологических размеров, напряжения питания, порогового напряжения, тактовой частоты и пр.) | 6          | 2                 | 0                        | 4                            | 0                                   |
| 1.3 | Автоматизация процесса цифрового проектирования в САПР Synopsys.                                                           | 6          | 2                 | 0                        | 4                            | 0                                   |

|                                                             |                                                                                                                     |     |    |   |    |    |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|---|----|----|
| 1.4                                                         | Комплексные методики оптимизации при переходе к наноразмерным топологическим нормам.                                | 6   | 2  | 0 | 4  | 0  |
| 2.                                                          | Способы снижения мощности                                                                                           | 24  | 8  | 0 | 16 | 0  |
| 2.1                                                         | Уменьшение потребляемой мощности с помощью реструктуризации списка цепей.                                           | 6   | 2  | 0 | 4  | 0  |
| 2.2                                                         | Способы снижения динамической потребляемой мощности. Метод clock gating.                                            | 6   | 2  | 0 | 4  | 0  |
| 2.3                                                         | Статическая потребляемая мощность. Источники утечек, способы уменьшения токов утечки.                               | 6   | 2  | 0 | 4  | 0  |
| 2.4                                                         | Методы уменьшения потребляемой мощности с использованием множественного порогового напряжения и напряжения питания. | 6   | 2  | 0 | 4  | 0  |
| 3.                                                          | Курсовой проект                                                                                                     | 57  | 25 | 0 | 0  | 32 |
| 4.                                                          | Экзамен                                                                                                             | 10  | 10 | 0 |    |    |
|                                                             | Всего                                                                                                               | 115 | 16 | 0 | 32 | 32 |
| Итоговая аттестация: защита курсового проекта, ЗаО, экзамен |                                                                                                                     |     |    |   |    |    |

### 3.9.5. Содержание дисциплины

Раздел 1 .Проблемы масштабирования при цифровом проектировании  
Тема 1.1 Масштабирование при проектировании субмикронных и наноразмерных цифровых СБИС

Основные подходы к проектированию энергоэффективных ЦБИС с субмикронными размерами

Тема 1.2 Взаимосвязь характеристик ЦИС (топологических размеров, напряжения питания, порогового напряжения, тактовой частоты и пр.)

Способы снижения энергопотребления при масштабировании топологических размеров, напряжения питания, порогового напряжения, тактовой частоты и т.п.

Тема 1.3 Автоматизация процесса цифрового проектирования в САПР Synopsys. Подходы к автоматизированному проектированию энергоэффективных ЦБИС с наноразмерными топологическими нормами.

Тема 1.4 Комплексные методики оптимизации при переходе к наноразмерным топологическим нормам.

Раздел 2 .Способы снижения мощности

Тема 2.1 Уменьшение потребляемой мощности с помощью реструктуризации списка цепей.

Тема 2.2 Способы снижения динамической потребляемой мощности. Метод clock gating.

Основные подходы к снижению динамической мощности при проектировании энергоэффективных ЦБИС, включая метод clock gating.

Тема 2.3 Статическая потребляемая мощность. Источники утечек, способы уменьшения токов утечки.

Источники снижения статической мощности.

Тема 2.4 Методы уменьшения потребляемой мощности с использованием множественного порогового напряжения и напряжения питания.

Комплексные методики уменьшения статической и динамической мощности.

### Перечень лабораторных работ

| Номер темы | Наименование лабораторной работы                                                                                                          | Кол-во часов |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1-1.2    | Исследование влияния топологических размеров, напряжения питания, тактовой частоты на мощность, потребляемую цифровым блоком.             | 8            |
| 1.3-1.4    | Способы снижения динамической потребляемой мощности. Метод clock gating.                                                                  | 8            |
| 2.1-2.2    | Исследование и разработка энергосберегающих цифровых блоков с переменным пороговым напряжением (VT, MT CMOS). Сравнение с CMOS вариантом. | 8            |
| 2.3-2.4    | Реализация метода power gating для уменьшения статической мощности цифрового блока средствами САПР Synopsys.                              | 8            |

### 3.9.6. Перечень учебной литературы

1. Справочная документация на ПО Synopsys
2. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне [Текст] / Б. П. Вонг [и др.]; Пер. с англ. К.В. Юдинцева. - М. : Техносфера, 2014. - 432 с.
3. Харрис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. - 2-е изд. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 770 с.
4. Коршунов А.В. Проектирование энергоэффективных цифровых схем [Текст] : Учеб. пособие / А. В. Коршунов, П. С. Волобуев, В. М. Дьяконов; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2012. - 116 с. - Имеется электронная версия издания. - ISBN 978-5-7256-0714-7

### 3.9.7. Информационные ресурсы

1. Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)),
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>),
3. Издательство Springer (<http://springerlink.com>).

### 3.9.8. Материально-технические условия реализации программы

| Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий | Вид занятия         | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                      |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мультимедийная аудитория                                         | Лекции,             | Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска<br>ПО: Microsoft Power Point, Word; Adobe Reader |
| Компьютерный класс                                               | лабораторные работы | САПР Synopsys, специализированные библиотеки                                                             |

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

Оценка качества освоения программы включает итоговую аттестацию обучающихся в форме зачета с оценкой и экзамена.

Слушатель считается аттестованным, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- владеет методами и средствами решения задач;
- успешная защита курсового проекта;
- может последовательно изложить материал курса;
- умеет формулировать обобщения по теме вопросов;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче экзамена .

### Структура и график контрольных мероприятий

| Шифр  | Тип КМ                  | Балл | Название КМ              | Учебная неделя |
|-------|-------------------------|------|--------------------------|----------------|
| А/П.1 | Активность/посещаемость | 2    | Опрос на лекции          | 5              |
| ЛР.1  | Лабораторная работа     | 6    | Защита лаб. работы       | 5              |
| А/П.2 | Активность/посещаемость | 2    | Опрос на лекции          | 9              |
| ЛР.2  | Лабораторная работа     | 6    | Защита лаб. работы       | 9              |
| А/П.3 | Активность/посещаемость | 2    | Опрос на лекции          | 13             |
| ЛР.3  | Лабораторная работа     | 6    | Защита лаб. работы       | 13             |
| А/П.4 | Активность/посещаемость | 2    | Опрос на лекции          | 17             |
| ЛР.4  | Лабораторная работа     | 6    | Защита лаб. работы       | 17             |
| КП.1  | Курсовой проект/работа  | 20   | Защита курсового проекта | 17             |
| З.1   | Зачет                   | 18   | Зачет с оценкой          | 18             |
| Э.1   | Экзамен                 | 30   | Экзамен                  | -              |

### **3.10. Рабочая программа учебной дисциплины** **Математическое моделирование приборных структур**

#### **3.10.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области математического моделирования приборных структур субмикронных и наноразмерных СБИС.

Задачами дисциплины являются:

- изучение принципов математического моделирования полупроводниковых приборов: иерархия моделей и основные задачи;
- освоение численных методов решения задач моделирования полупроводниковых приборов;
- получение практических навыков моделирования пассивных элементов ИС.

#### **3.10.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)**

##### **Требования к результатам освоения программы**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенций: проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств для моделирования приборных структур

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

**Знать:** модели и методы учета влияния параметров приборных структур и межсоединений

**Уметь:** учитывать влияние приборных структур и межсоединений на быстродействие ИС

**Приобрести практический опыт:** использования методов исследования эффективности энергопотребления ИС

### 3.10.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемк<br>ость, часы | Контактная работа |                |                                 |                                     | Самостоятель<br>ная работа,<br>час | Промежуточ<br>ная<br>аттестация |
|---------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|                                 | Всего,<br>час     | Лекции,<br>час | Лаборатор<br>ные<br>работы, час | Практичес<br>кие<br>занятия,<br>час |                                    |                                 |
| 35                              | 32                | 16             | 16                              |                                     |                                    | За (3)                          |

### 3.10.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №    | Наименование<br>разделов и тем                                                              | Всего, час | Контактная работа |                         |                         | Самостояте<br>льная<br>работа, час |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|
|      |                                                                                             |            | Лекции            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>занятия |                                    |
| 1.   | Математическое моделирование полупроводниковых приборов: иерархия моделей и основные задачи |            | 6                 |                         |                         |                                    |
| 1.1  | Место и современное состояние приборного моделирования.                                     |            | 2                 |                         |                         |                                    |
| 1.2. | Основные физико-математических моделей: уравнения, иерархия и классификация, допущения и    |            | 2                 |                         |                         |                                    |

|      |                                                                                                                                                        |  |   |  |   |  |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---|--|---|--|
|      | области применимости                                                                                                                                   |  |   |  |   |  |
| 1.3. | Постановка задач, типовые граничные и начальные условия, выбор пространственной размерности при моделировании полупроводниковых приборов.              |  | 2 |  |   |  |
| 2.   | Численные методы решения задач моделирования полупроводниковых приборов                                                                                |  | 6 |  | 6 |  |
| 2.1. | Сеточная аппроксимация уравнений физико-математической модели полупроводникового прибора. Метод макрочастиц как способ решения кинетических уравнений. |  | 2 |  |   |  |
| 2.2. | Методы решения уравнений физико-математической моделей полупроводниковых приборов, проблемы сходимости.                                                |  | 2 |  |   |  |
| 2.3  | Модели                                                                                                                                                 |  | 2 |  |   |  |

|                                                                       |                                                                                                                                             |    |   |  |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|--|----|----|
|                                                                       | подвижности и рекомбинации в дрейфово-диффузионном уравнении. Транспортные модели, используемые в кинетических и гидродинамических моделях. |    |   |  |    |    |
| 3.                                                                    | Моделирование пассивных элементов ИС.                                                                                                       |    | 4 |  | 16 |    |
| 3.1.                                                                  | Методы расчета емкостей и сопротивлений для межсоединений сложной конфигурации и пассивных элементов ИС.                                    |    |   |  |    |    |
| 3.2.                                                                  | Расчет индуктивных элементов. Реализация основных задач моделирования элементов межсоединений в современных индустриальных средствах САПР.  |    |   |  |    |    |
| 4                                                                     | Зачет                                                                                                                                       | 3  | 3 |  |    |    |
|                                                                       | Всего                                                                                                                                       | 35 |   |  |    |    |
| Итоговая аттестация: Итоговый тест, комплекс разработанных материалов |                                                                                                                                             |    |   |  |    | За |

### **3.10.5. Содержание дисциплины**

#### **Раздел 1. Математическое моделирование полупроводниковых приборов: иерархия моделей и основные задачи (6 часов)**

Тема 1.1. Место математического моделирования приборных структур при проектировании изделий полупроводниковой электроники. Основные задачи, стоящие перед приборным моделированием. Современное состояние приборного моделирования.

Тема 1.2. Основные уравнения физико-математических моделей, используемых при моделировании полупроводниковых приборов. Иерархия и классификация моделей: кинетическая модель, гидродинамическая модель, дрейфово-диффузионная модель. Основные допущения и области применимости физико-математических моделей полупроводниковых приборов

Тема 1.3. Постановка задач моделирования полупроводниковых приборов (стационарные задачи, нестационарные задачи, малосигнальный анализ), типовые граничные и начальные условия. Выбор пространственной размерности при моделировании полупроводниковых приборов. Реализация основных задач моделирования в современных промышленных средствах САПР.

#### **Раздел 2. Численные методы решения задач моделирования полупроводниковых приборов (6 часов)**

Тема 2.1. Сеточная аппроксимация уравнений физико-математической модели полупроводникового прибора - уравнение Пуассона, уравнение непрерывности в дрейфово-диффузионной модели, уравнение непрерывности в гидродинамической модели. Метод макрочастиц как способ решения кинетических уравнений.

Тема 2.2. Методы решения уравнений физико-математической моделей полупроводниковых приборов: метод Гуммеля, метод Ньютона, методика решения нестационарных малосигнальных задач. Проблемы сходимости.

Тема 2.3. Модели подвижности и рекомбинации в дрейфово-диффузионном уравнении. Транспортные модели, используемые в кинетических и гидродинамических моделях.

#### **Раздел 3. Моделирование пассивных элементов ИС. (4 часа)**

Тема 3.1. Методы расчета емкостей и сопротивлений для межсоединений сложной конфигурации и пассивных элементов интегральных схем. Методы решения уравнения Пуассона.

Тема 3.2. Расчет индуктивных элементов. РЕЕС модель. Скин-эффект и эффект близости. Реализация основных задач моделирования элементов межсоединений в современных индустриальных средствах САПР.

### Перечень лабораторных работ

| Номер темы | Наименование практического занятия                                                                                                                                                                   | Кол-во часов |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 3.1        | Освоение программных продуктов компании Synopsys предназначенных для экстракции емкостей в пассивных приборах ИС и межсоединениях. Расчет емкостей в типовых пассивных приборах ИС.                  | 8            |
| 3.2        | Освоение программных продуктов компании Synopsys предназначенных для экстракции индуктивностей в пассивных приборах ИС и межсоединениях. Расчет индуктивности пассивных элементов интегральных схем. | 8            |

### 3.10.6. Перечень учебной литературы

1. 621.3.049.77(075.8) - А-161 Абрамов И.И. Лекции по моделированию элементов интегральных схем [Текст] : Учеб. пособие / И.И. Абрамов. - М. ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований, 2002. - 146 с. - ISBN 5-93972-177-X
2. 621.3.049.77(075.8) - А-161 Абрамов И.И. Курс лекций "Моделирование элементов интегральных схем" [Текст] : Учеб. пособие. Ч. 2 / И.И. Абрамов. - Минск : БГУИР, 2000. - 72 с. - ISBN 985-444-111-3
3. 621.3.049.77 - А-161 Абрамов И.И. Моделирование физических процессов в элементах кремниевых интегральных микросхем [Текст] / И.И. Абрамов. - Минск : БГУ, 1999. - 189 с. - ISBN 985-445-148-8
4. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Электронный ресурс] : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; Под ред. Ю.А.

Чаплыгина. - 3-е изд., электронное. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 400 с. - Доступ к электронной версии книги открыт на сайте <https://e.lanbook.com/>.

5. 621.3.049.77(075.8) - К-68 Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Текст] : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А. Королев, [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с. - Изд. выполнено в рамках инновац. образоват. программы МИЭТ "Соврем. проф. образование для рос. инновац. системы в области электроники". - ISBN 978-5-94774-583-2; 978-5-94774-585-6 : Ссылка на ресурс: <http://e.lanbook.com/view/book/42629/>

6. Schenk A. «Advanced Physical Models for Silicon Device Simulation» Springer, 2004 <https://www.springer.com/gp/book/9783211830529#otherversion=9783709164945>; [https://books.google.ru/books/about/Advanced\\_Physical\\_Models\\_for\\_Silicon\\_Dev.html?id=uTM3gCkh0IAC&redir\\_esc=y](https://books.google.ru/books/about/Advanced_Physical_Models_for_Silicon_Dev.html?id=uTM3gCkh0IAC&redir_esc=y)

7. Hess K. «Monte Carlo Device Simulation» Kluwer Academic Publishers, 2007 [https://www.researchgate.net/publication/253644248\\_Monte\\_Carlo\\_Device\\_Simulations](https://www.researchgate.net/publication/253644248_Monte_Carlo_Device_Simulations)

### **3.10.7. Информационные ресурсы**

Корпоративная информационно-технологическая платформа ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>).

### **3.10.8. Материально-техническое обеспечение**

Лабораторные работы проводятся в компьютерных классах МИЭТ, оснащённых персональными компьютерами с центральным процессором Pentium и работающих под управлением ОС Linux.

В качестве прикладного программного обеспечения используется лицензионные системы автоматизированного проектирования СБИС компании Synopsys

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

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система. Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия (в сумме 60 баллов), зачёт (40 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка.

Слушатель считается аттестованным, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- владеет методами и средствами решения задач;
- может последовательно изложить материал курса;
- умеет формулировать обобщения по теме вопросов;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче зачета.

### **3.11. Рабочая программа учебной дисциплины** **Маршрут проектирования ЦИС. Физический синтез**

#### **3.11.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области маршрут проектирования полужаказных ЦИС на этапе физического синтеза, включая учет в маршруте проектирования топологических ограничений и условий функционирования.

Задачами дисциплины являются:

1. Изучение особенностей маршрутов проектирования на основе библиотек стандартных ячеек.
2. Введение в автоматизированный физический синтез с использованием САПР Synopsys
3. Изучение влияния проектных ограничений и условий функционирования на этапе физического синтеза
4. Пример реализации маршрута физического синтеза с использованием учебных библиотек 32/28 и 90 нм

#### **3.11.2. Требования к результатам обучения**

Формируемая профессиональная компетенция – проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств на физическом уровне

В результате освоения данной программы слушатель должен:

***Знать:***

- программные средства САПР SYNOPSIS для автоматизированного физического проектирования и синтеза;
- особенности физического синтеза цифровых СБИС и СнК на основе библиотек стандартных ячеек.

***Уметь*** использовать программные средства САПР SYNOPSIS для физического синтеза;

***Иметь практический опыт*** в области физического проектирования цифровых СБИС и СнК на основе библиотек стандартных ячеек.

### 3.11.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                     |                                     |                                   | Самостоя-<br>тельная<br>работа,<br>час | Промежуто-<br>чная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекц-<br>ии,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы,<br>час | Практически-<br>е занятия,<br>час |                                        |                                  |
| 58                               | 48                | 16                  | 32                                  | -                                 | -                                      | 10 (экзамен)                     |

### 3.11.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №                            | Наименование<br>разделов и тем                                             | Всего, час | Контактная работа |                           |                              | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
|                              |                                                                            |            | Лекции            | Практически-<br>е занятия | Лаборатор-<br>ные<br>занятия |                                     |
| 1.                           | Физический синтез в САПР Synopsys с использованием библиотек 32/28 и 90 нм | 48         | 16                | 0                         | 32                           | 0                                   |
| 1.1                          | Создание и настройка окружения проекта                                     | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 1.2                          | Планировка кристалла (floorplan)                                           | 12         | 4                 | 0                         | 8                            | 0                                   |
| 1.3                          | Размещение стандартных ячеек (placement)                                   | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 1.4                          | Синтез дерева синхронизации (clock tree synthesis, CTS)                    | 12         | 4                 | 0                         | 8                            | 0                                   |
| 1.5                          | Трассировка (routing)                                                      | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 1.6                          | Финишные операции физического синтеза                                      | 6          | 2                 | 0                         | 4                            | 0                                   |
| 2.                           | Экзамен                                                                    | 10         | 0                 | 0                         |                              |                                     |
|                              | Всего                                                                      | 58         | 16                | 0                         | 32                           | 0                                   |
| Итоговая аттестация: экзамен |                                                                            |            |                   |                           |                              |                                     |

### 3.11.5. Содержание дисциплины

Раздел 1. Физический синтез в САПР Synopsys с использованием библиотек 32/28 и 90 нм

Тема 1.1 Создание и настройка окружения проекта

Настройка окружения проекта для выполнения физического проектирования (data setup)

Тема 1.2 Планировка кристалла (floorplan)

Выполнение планировки кристалла (floorplan), с размещением ячеек ввода/вывода и проектированием сети питания

Тема 1.3 Размещение стандартных ячеек (placement)

Размещение стандартных ячеек на кристалле (placement) с анализом перегруженности трассировочных ресурсов

Тема 1.4 Синтез дерева синхронизации (clock tree synthesis, CTS)

Синтез дерева синхронизации (clock tree synthesis, CTS) с учетом иерархической структуры проекта и временных ограничений

Тема 1.5 Трассировка (routing)

Трассировка с учетом временных ограничений и загруженности трассировочных ресурсов (routing)

Тема 1.6 Финишные операции физического синтеза.

Финишные операции для повышения выхода годных (добавление ячеек-филлеров, заполнение металлом, дополнительные межслойные переходы) и запись окончательного проекта.

### Перечень лабораторных работ

| Номер темы | Наименование лабораторной работы                        | Кол-во часов |
|------------|---------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1        | Создание и настройка окружения проекта                  | 4            |
| 1.2        | Планировка кристалла (floorplan)                        | 8            |
| 1.3        | Размещение стандартных ячеек (placement)                | 4            |
| 1.4        | Синтез дерева синхронизации (clock tree synthesis, CTS) | 8            |
| 1.5        | Трассировка (routing)                                   | 4            |
| 1.6        | Финишные операции физического синтеза                   | 4            |

### 3.11.6. Перечень учебной литературы

1. Справочная документация на ПО Synopsys
2. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне [Текст] / Б. П. Вонг [и др.]; Пер. с англ. К.В. Юдинцева. - М. : Техносфера, 2014. - 432 с.
3. Харрис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. - 2-е изд. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 770 с.

### 3.11.7. Информационные ресурсы

1. Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)),
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>),
3. Издательство Springer (<http://springerlink.com>).

### 3.11.8. Материально-технические условия реализации программы

| Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий | Вид занятия         | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                      |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мультимедийная аудитория                                         | Лекции,             | Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска<br>ПО: Microsoft Power Point, Word; Adobe Reader |
| Компьютерный класс                                               | лабораторные работы | САПР Synopsys, специализированные библиотеки                                                             |

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

Оценка качества освоения программы включает итоговую аттестацию обучающихся в форме экзамена.

Слушатель считается аттестованным, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- владеет методами и средствами решения задач;
- может последовательно изложить материал курса;
- умеет формулировать обобщения по теме вопросов;

- дает полные ответы на вопросы при сдаче экзамена .

### **Структура и график контрольных мероприятий**

| Шифр  | Тип КМ                  | Балл | Название КМ        | Учебная<br>неделя |
|-------|-------------------------|------|--------------------|-------------------|
| А/П.1 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 5                 |
| ЛР.1  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 5                 |
| А/П.2 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 9                 |
| ЛР.2  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 9                 |
| А/П.3 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 13                |
| ЛР.3  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 13                |
| А/П.4 | Активность/посещаемость | 4    | Опрос на лекции    | 17                |
| ЛР.4  | Лабораторная работа     | 12   | Защита лаб. работы | 17                |
| Э.1   | Экзамен                 | 36   | Экзамен            | -                 |

### **3.12. Рабочая программа учебной дисциплины** **Проектирование систем на кристалле**

#### **3.12.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины является формирование специальных знаний в области автоматизированного маршрута проектирования систем на кристалле средствами САПР Synopsys, включая учет в маршруте проектирования проектных ограничений и условий функционирования.

Задачами дисциплины являются:

1. Изучение особенностей маршрутов проектирования СнК на основе библиотек стандартных ячеек и СФ-блоков.
2. Автоматизированный логический и физический синтез с использованием САПР Synopsys
3. Изучение влияния проектных ограничений и условий функционирования на характеристики СнК
4. Пример реализации маршрута проектирования СнК с использованием учебных библиотек 32/28 и 90 нм

#### **3.12.2. Требования к результатам обучения**

Формируемая профессиональная компетенция – проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований на основе новейших научно-технических достижений, передового отечественного и зарубежного опыта проектирования и с использованием современных программных средств на системном уровне

В результате освоения данной программы слушатель должен:

**Знать:** основные принципы проектирования систем на кристалле с использованием современных промышленных средств автоматизации проектирования;

**Уметь** формулировать задачи функционально-логического и топологического синтеза цифровых и аналоговых блоков с учётом влияния межсоединений и практически применять инженерные методы синтеза и оптимизации цифровых блоков СнК;

**Иметь практический опыт** в использовании программных средств САПР компании Synopsys для проведения разработки аналоговых и цифровых блоков СнК.

### 3.12.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                     |                                     |                                   | Самостоя-<br>тельная<br>работа,<br>час | Промежуто-<br>чная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекц-<br>ии,<br>час | Лаборатор-<br>ные<br>работы,<br>час | Практически-<br>е занятия,<br>час |                                        |                                  |
| 35                               | 32                | 16                  | 16                                  | -                                 | -                                      | 3 (зачет)                        |

### 3.12.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №                          | Наименование<br>разделов и тем                         | Всего, час | Контактная работа |                           |                              | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
|                            |                                                        |            | Лекции            | Практически-<br>е занятия | Лаборатор-<br>ные<br>занятия |                                     |
| 1.                         | Этапы проектирования СНК и его основные задачи.        | 16         | 8                 | 0                         | 16                           | 0                                   |
| 1.1                        | Проектирование цепей синхронизации и шин питания в СНК | 8          | 4                 | 0                         | 8                            | 0                                   |
| 1.2                        | Особенности проектирования межсоединений в СНК         | 8          | 4                 | 0                         | 8                            | 0                                   |
| 2                          | Проектирование специальных СНК                         | 16         | 8                 | 0                         | 0                            | 0                                   |
| 2.1                        | Проектирование СНК со сверхнизким потреблением         | 8          | 4                 | 0                         | 0                            | 0                                   |
| 2.2                        | Проектирование аналоговых блоков СНК                   | 8          | 4                 | 0                         | 0                            | 0                                   |
| 3.                         | Зачет                                                  | 3          | 0                 | 0                         |                              |                                     |
|                            | Всего                                                  | 35         | 16                | 0                         | 16                           | 0                                   |
| Итоговая аттестация: зачет |                                                        |            |                   |                           |                              |                                     |

### 3.12.5. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Этапы проектирования СНК и его основные задачи.

Общие представления о современных системах на кристалле – определение, состав, IP-блоки и их классификация.

Основные этапы проектирования СНК. Маршруты проектирования цифровых и аналоговых IP-блоков. Программным средствам САПР.

##### Тема 1.1 Проектирование цепей синхронизации и шин питания в СНК

Конструкции сигнальных цепей, цепей синхронизации, шин «Земли» и «Питания». Топология цепей синхронизации. Требования к временным параметрам цепей синхронизации. Минимизация задержек в цепях синхронизации. Особенности проектирования и топологии шин питания.

##### Тема 1.2 Особенности проектирования межсоединений в СНК

Особенности многослойных межсоединений в СНК с топологическими нормами 90 нм и ниже.

Проблемы масштабирования локальных и глобальных цепей. Эффекты перекрестных помех в межсоединениях. Буферизация сигнальных цепей.

#### Раздел 2. Проектирование специальных СНК

##### Тема 2.1 Проектирование СНК со сверхнизким потреблением

Динамическое и статическое потребление мощности в СНК. Методы снижения динамического и статического потребления энергии. Особенности проектирования СНК с динамическим отключением доменов. Специальные библиотеки стандартных элементов для СНК со сверхнизким потреблением.

##### Тема 2.2 Проектирование аналоговых блоков СНК

Основные характеристики и разновидности аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей. Методика проектирования аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей для СНК с нанометровыми топологическими нормами.

### Перечень лабораторных работ

| Номер темы | Наименование лабораторной работы                                                                                                                        | Кол-во часов |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.1        | Освоение программных средств САПР компании Synopsys, предназначенных для логического синтеза, планировки кристалла и создания цепей синхронизации .СНК. | 8            |
| 1.2        | Проектирование сигнальных цепей в среде САПР компании Synopsys, оптимизация сигнальных цепей для достижения максимального быстродействия.               | 8            |

### **3.12.6. Перечень учебной литературы**

1. Справочная документация на ПО Synopsys
2. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне [Текст] / Б. П. Вонг [и др.]; Пер. с англ. К.В. Юдинцева. - М. : Техносфера, 2014. - 432 с.
3. Харрис, Д. М. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. М. Харрис, С. Л. Харрис. - 2-е изд. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 770 с.
4. Валидация на системном уровне. Высокоуровневое моделирование и управление тестированием [Текст] / Минсон Чень, [et al.]; Пер. с англ. Е.Б. Махияновой, под ред. А.Н. Ланцева. - М. : Техносфера, 2014. - 296 с. - (Мир радиоэлектроники). - ISBN 978-5-94836-365-3 : 654-72, 750 экз. (Библ. МИЭТ 11 экз.)
5. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях [Электронный ресурс] / М. Т. Джонс. - 2-е изд. - Саратов : Профобразование, 2017. - 310 с Доступ к электронной версии книги открыт на сайте [www.bibliocomplectator.ru/](http://www.bibliocomplectator.ru/) с 01 сентября 2019 по 31 августа 2020 г. - ISBN 978-5-4488-0116-7.
6. Ильин С.А. (Автор МИЭТ, ПКИМС). Автоматизация топологического проектирования СБИС [Текст] : Учеб. пособие / С.А. Ильин, Д.И. Рыжова, В.М. Щемелинин; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2019. - 148 с. - ISBN 978-5-7256-0918-9 : б.ц., 200 экз

### **3.12.7. Информационные ресурсы**

1. Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)),
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>),
3. Издательство Springer (<http://springerlink.com>).

### 3.12.8. Материально-технические условия реализации программы

| Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий | Вид занятия         | Наименование оборудования, программного обеспечения                                                      |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мультимедийная аудитория                                         | Лекции,             | Оборудование: компьютер, мультимедийный проектор, доска<br>ПО: Microsoft Power Point, Word; Adobe Reader |
| Компьютерный класс                                               | лабораторные работы | САПР Synopsys, специализированные библиотеки                                                             |

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

Оценка качества освоения программы включает итоговую аттестацию обучающихся в форме зачета .

Слушатель считается аттестованным, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- владеет методами и средствами решения задач;
- может последовательно изложить материал курса;
- умеет формулировать обобщения по теме вопросов;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче зачета .

#### Структура и график контрольных мероприятий

| Шифр  | Тип КМ                  | Балл | Название КМ        | Учебная неделя |
|-------|-------------------------|------|--------------------|----------------|
| А/П.1 | Активность/посещаемость | 6    | Опрос на лекциях   | 9              |
| ЛР.1  | Лабораторная работа     | 28   | Защита лаб. работы | 9              |
| А/П.2 | Активность/посещаемость | 6    | Опрос на лекциях   | 17             |
| ЛР.2  | Лабораторная работа     | 28   | Защита лаб. работы | 17             |
| 3.1   | Зачет                   | 32   | Зачет              | -              |

### **3.13. Рабочая программа учебной дисциплины** **Подготовка данных для изготовления фотошаблонов** **средствами Synopsys CATS**

#### **3.13.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины «Подготовка данных для изготовления фотошаблонов» является изучение и практическое освоение методов и алгоритмов проектирования фотошаблонов с использованием автоматизированных систем проектирования (САПР), теоретических основ процессов фотолитографии, в частности, формирования рисунка топологии на поверхности фоторезиста.

#### **3.13.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля)** **Требования к результатам освоения программы**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании (формирует) компетенций: - подготовка исходных данных и проектирование фотошаблонов субмикронного и нанометрового уровней технологии.

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

##### **Знать:**

- математические модели, методы и алгоритмы, используемые на этапе коррекции эффектов оптической близости (OPC – Optical Proximity Correction);
- математически формализуемые критерии оценки качества полученных решений;
- понятия о различных методах анализа и коррекции эффектов оптической близости;

##### **Уметь:**

- пользоваться существующими методами автоматизированного синтеза для проектирования фотошаблонов;
- пользоваться автоматизированными системами для анализа и коррекции эффектов оптической близости;

##### **Приобрести практический опыт:**

- использования методов моделирования процессов проекционной фотолитографии;
- использования методов автоматизированной коррекции эффектов оптической близости;
- использования методов верификации законченной топологии проекта на соблюдение КТО.

### 3.13.3. Объем дисциплины и виды учебной работы

| Общая<br>трудоемко-<br>сть, часы | Контактная работа |                 |                                     |                                      | Самостоя-<br>тельная<br>работа, час | Промежуто-<br>чная<br>аттестация |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Всего,<br>час     | Лекции<br>, час | Лабора-<br>торные<br>работы,<br>час | Практич-<br>еские<br>занятия,<br>час |                                     |                                  |
| 35                               | 32                | 16              |                                     | 16                                   |                                     | 3<br>Зачет                       |

### 3.13.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №    | Наименование<br>разделов и тем                                                 | Всего, час | Контактная работа |                           |                         | Самостояте-<br>льная<br>работа, час |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|      |                                                                                |            | Лекции            | Практическ-<br>ие занятия | Лабораторные<br>занятия |                                     |
| 1.   | <b>Модуль 1.<br/>Теоретические<br/>основы<br/>формирования<br/>фотошаблона</b> | 16         | 8                 | 8                         |                         |                                     |
| 1.1  | Теоретические<br>основы<br>проектирования<br>фотошаблонов                      | 8          | 4                 | 4                         |                         |                                     |
| 1.2. | Этапы<br>проектирования<br>фотошаблонов                                        | 8          | 4                 | 4                         |                         |                                     |
| 2.   | <b>Модуль 2.<br/>Программное<br/>обеспечение<br/>генерации<br/>фотошаблона</b> | 16         | 8                 | 8                         |                         |                                     |
| 2.1. | Математические                                                                 | 8          | 4                 | 4                         |                         |                                     |

|                                                                          |                                                                         |    |    |    |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----|----|----|--|--|
|                                                                          | модели,<br>используемые при<br>генерации<br>фотошаблонов                |    |    |    |  |  |
| 2.2.                                                                     | Методы и<br>алгоритмы,<br>используемые при<br>генерации<br>фотошаблонов | 8  | 4  | 4  |  |  |
| 5.                                                                       | Зачет                                                                   | 3  | 0  | 0  |  |  |
|                                                                          | Всего                                                                   | 35 | 16 | 16 |  |  |
| Итоговая аттестация: Итоговый тест, комплекс<br>разработанных материалов |                                                                         |    |    |    |  |  |

### 3.13.5. Содержание дисциплины

#### Раздел 1. Теоретические основы формирования фотошаблона (16 часов)

Тема 1.1. Теоретические основы проектирования фотошаблонов.

Тема 1.2. Этапы проектирования фотошаблонов.

#### Раздел 2. Теоретические основы формирования фотошаблона (16 часов)

Тема 2.1. Математические модели, используемые при генерации фотошаблонов.

Тема 2.2. Методы и алгоритмы, используемые при генерации фотошаблонов.

### Перечень практических занятий

| Номер<br>темы | Наименование практического занятия                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Кол-во<br>часов |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1.1           | Общие сведения о литографии и фотошаблонах. Виды литографии. Фотолитография. Понятие фотошаблона. Виды фотошаблонов. Технология изготовления бинарных и фазосдвигающих фотошаблонов.                                                                                                                                            | 2               |
| 1.2           | Проблемы переноса изображения и современные методики повышения разрешающей способности (RET). Проблемы переноса изображения, возникающие при переходе к субмикронным и нанометровым проектным нормам. Коррекция оптической близости (OPC). Фазосдвигающие маски (PSM). Внеосевое освещение (OAI). Двойное экспонирование (DPT). | 2               |
| 1.3           | Место подготовки данных в общем маршруте проектирования                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2               |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |   |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|     | и изготовления СБИС. Общий маршрут подготовки данных для изготовления фотошаблонов. Операции, выполняемые при подготовке данных.                                                                                                                                                                                                     |   |
| 1.4 | Современные средства подготовки данных для изготовления ФШ. Специализированные программные продукты Synopsys, Cadence и Mentor Graphics для подготовки данных и проведения коррекции. Обзор существующих на рынке программных пакетов Synopsys, Cadence и Mentor Graphics для подготовки данных и проведения коррекции топологии ФШ. | 2 |
| 2.1 | Synopsys CATS. Интерфейс. Основные модули и команды. Входные и выходные форматы данных. Параметры фрагментации.                                                                                                                                                                                                                      | 2 |
| 2.2 | Cadence Mask Compose. Интерфейс. Основные модули и команды. Входные и выходные форматы данных. Параметры создания рамки ФШ.                                                                                                                                                                                                          | 2 |
| 2.3 | Проведение Rule-based и Model-based OPC средствами Synopsys. Проверка соответствия технологическим нормам (MRC). Технологический цикл изготовления бинарных и фазосдвигающих фотошаблонов.                                                                                                                                           | 2 |
| 2.4 | Аттестация фотошаблонов. Маршрут подготовки данных для проведения автоматизированной аттестации фотошаблонов. Автоматизация процесса подготовки данных.                                                                                                                                                                              | 2 |

### 3.13.6. Перечень учебной литературы

1. В.А. Беспалов и др. Введение в дизайн фотошаблонов для изготовления микро- и наносистем. Synopsys CATS. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 154 с.
2. С.М. Аваков и др. Введение в дизайн фотошаблонов для изготовления микро- и наносистем. Synopsys CATS, Mentor Graphics, Cadence MaskCompose; Под ред. В.А. Беспалова. - М. : Лаборатория знаний, 2016. - 348 с. - ISBN 978-5-906828-50-7 : 2356-81, 2828-00.
3. В.А. Беспалов и др. Введение в дизайн фотошаблонов для изготовления микро- и наносистем. Mentor Graphics. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2014. - 207 с.
4. В.А. Беспалов и др. Введение в дизайн фотошаблонов для изготовления микро- и наносистем. Cadence MaskCompose. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2013. - 199 с.
5. Казённов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. М.: БИНОМ: Лаборатория знаний. 2009 г. 296 с.

### **Периодические издания:**

1. Журнал Известия вузов. Электроника
2. Журнал Информационные технологии.

### **3.13.7. Информационные ресурсы**

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

Система ОРОКС, поисковые системы Яндекс, Google.

### **3.13.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения интерактивных лекционных и практических занятий по курсу «Подготовка данных для изготовления фотошаблонов» требуется лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором.

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

| Шифр  | Тип                     | Макс. балл | Учебная неделя |
|-------|-------------------------|------------|----------------|
| А/П.1 | Активность/Посещаемость | 10         | 2              |
| РК.1  | Рубежный контроль       | 20         | 5              |
| А/П.2 | Активность/Посещаемость | 10         | 7              |
| 3.1   | Зачёт                   | 60         |                |

### **3.14. Рабочая программа учебной дисциплины Разработка графических интерфейсов**

#### **3.14.1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью реализации дисциплины «Разработка графических интерфейсов» является формирование у обучаемого комплекса знаний, умений и навыков в области применения скриптовых языков для программирования приложений с графическим интерфейсом и визуализации данных.

#### **3.14.2. Планируемые результаты обучения дисциплины (модуля) Требования к результатам освоения учебной дисциплины**

Дисциплина (модуль) участвует в формировании компетенции:

- способен применять современные лингвистические средства интерпретируемых языков для разработки программ с графическим интерфейсом и визуализации данных.

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

**Знания:**

- особенностей использования системного программного обеспечения для построения встраиваемых систем;

**Умения:**

- осуществлять базовую настройку ОС Linux в готовой встраиваемой системе;

**Приобрести практический опыт:**

- по управлению вводом/выводом на встраиваемой системе средствами ОС Linux.

#### **3.14.3. Объем дисциплины и виды учебной работы**

| <b>Общая<br/>трудоемко<br/>сть, часы</b> | <b>Контактная работа</b> |                         |                                              |                                               | <b>Самостоят<br/>ельная<br/>работа, час</b> | <b>Промежуто<br/>чная<br/>аттестация</b> |
|------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                          | <b>Всего,<br/>час</b>    | <b>Лекции<br/>, час</b> | <b>Лабора<br/>торные<br/>работы,<br/>час</b> | <b>Практич<br/>еские<br/>занятия,<br/>час</b> |                                             |                                          |
| <b>24</b>                                | <b>24</b>                | <b>8</b>                | <b>16</b>                                    |                                               |                                             | <b>Зачет</b>                             |

### 3.14.4. Учебно-тематический план дисциплины

| №                                      | Наименование разделов и тем                          | Всего, час | Контактная работа, час |                      |                      | ЭО или ДОТ, час |                      |                      | Самостоятельная работа, час |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------|------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
|                                        |                                                      |            | Лекции                 | Лабораторные занятия | Практические занятия | Лекции          | Лабораторные занятия | Практические занятия |                             |
| 1.                                     | <b>Разработка программ с графическим интерфейсом</b> | 12         |                        | 8                    |                      | 4               |                      |                      |                             |
| 1.1                                    | Знакомство с портами кроссплатформенных библиотек.   | 12         |                        | 8                    |                      | 4               |                      |                      |                             |
| 2.                                     | <b>Библиотеки для визуализации данных</b>            | 12         |                        | 8                    |                      | 4               |                      |                      |                             |
| 2.1.                                   | Библиотека matplotlib                                | 6          |                        | 4                    |                      | 2               |                      |                      |                             |
| 2.2.                                   | Библиотека graphviz                                  | 6          |                        | 4                    |                      | 2               |                      |                      |                             |
|                                        | Всего                                                | 24         |                        |                      |                      |                 |                      |                      |                             |
| Промежуточная аттестация: <i>Зачет</i> |                                                      |            |                        |                      |                      |                 |                      |                      |                             |

### 3.14.5. Содержание дисциплины

#### Перечень лекций

| Номер раздела и темы | Краткое содержание                                                                                                                                         | Количество часов |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1.1.                 | <b>Знакомство с портами кроссплатформенных библиотек.</b><br>Принцип разработки ОО кода на языке Python. Порт библиотеки wxWidgets. Порт библиотеки PyQt5. | 4                |
| 2.1.                 | <b>Библиотека matplotlib.</b><br>Построение вычислений в Python. Сторонние библиотеки: Fractions, Matplotlib. Визуализация данных с помощью Matplotlib.    | 2                |
| 2.2.                 | <b>Библиотека graphviz.</b><br>Построение графовых моделей. Алгоритмы визуализации графов. Библиотека graphviz.                                            | 2                |

### Перечень лабораторных занятий

| Номер раздела и темы | Наименование лабораторного занятия                                     | Количество часов |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1.1.                 | Программирование графического интерфейса с помощью библиотеки wxPython | 4                |
| 1.2.                 | Программирование графического интерфейса с помощью библиотеки PyQt5    | 4                |
| 2.1.                 | Визуализация числовых данных с использованием библиотеки Matplotlib    | 4                |
| 2.2.                 | Визуализация графовых моделей с использованием библиотеки Graphviz     | 4                |

### Перечень практических занятий

*Не предусмотрены*

#### 3.14.6. Перечень учебной литературы

##### Основная литература

- 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

##### Дополнительная литература

- Смирнов С.А. Компьютерные технологии в науке и образовании: Учебное пособие/ГОУ ВПО Иван.гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2006. - 136с. ISBN 5-9616-0170-6 (<http://window.edu.ru>)

##### Периодические издания:

- Журнал Известия вузов. Электроника
- Журнал Информационные технологии.

#### 3.14.7. Информационные ресурсы

- Корпоративная информационно-технологическая платформа ОРИОКС ([orioks.miet.ru](http://orioks.miet.ru)).

2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru>), Известия вузов. Электроника [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7821](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7821), Нано- и микросистемная техника [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=9293](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9293), Микроэлектроника [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7900](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7900).
3. Библиографическая и реферативная база данных научной периодики «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)),  
Semiconductors <http://www.scopus.com/source/sourceInfo.url?sourceId=29834&origin=resultslist>;  
Nanotechnologies in Russia <http://www.scopus.com/source/sourceInfo.url?sourceId=19700186876&origin=resultslist>
4. Онлайн курс по Python: <https://ru.code-basics.com/languages/python>
5. Python и библиотека PyQt5: <https://zetcode.com/gui/pyqt5/>
6. Python и библиотека wxPython: <https://zetcode.com/wxpython/>

### 3.14.8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий | Вид занятия         | Наименование оборудования, программного обеспечения  |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------|
| Образовательный центр Synopsys - МИЭТ (20 мест)                   | Лабораторные работы | Компьютер, принтер, Интернет<br>ОС Linux, OpenOffice |

### 3.14.9. Система контроля и оценивания

Оценка качества освоения дисциплины включает текущую и промежуточную аттестацию обучающихся.

Оценка качества освоения программы включает аттестацию обучающихся в форме зачета.

Слушатель считается аттестованным, если:

- знает основные термины и понятия курса;
- владеет методами и средствами решения задач;
- может последовательно изложить материал курса;
- умеет формулировать обобщения по теме вопросов;
- дает полные ответы на вопросы при сдаче зачета.

### Структура и график контрольных мероприятий

| Шифр | Тип КМ              | Балл | Название КМ        | Учебная неделя |
|------|---------------------|------|--------------------|----------------|
| ЛР.1 | Лабораторная работа | 12   | Защита лаб. работы | 2              |

|       |                         |    |                    |   |
|-------|-------------------------|----|--------------------|---|
| ЛР.2  | Лабораторная работа     | 12 | Защита лаб. работы | 4 |
| ЛР.3  | Лабораторная работа     | 12 | Защита лаб. работы | 6 |
| ЛР.4  | Лабораторная работа     | 12 | Защита лаб. работы | 8 |
| А/П.4 | Активность/посещаемость | 12 | Опрос на лекции    | 8 |
| З.1   | Зачет                   | 40 | Зачет              | - |

Конкретные формы и процедуры текущего и промежуточного контроля знаний, умений и опыта деятельности доводятся до сведения обучающихся в течение первого месяца обучения.

#### **4. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ**

##### **4.1. Материально-технические условия реализации программы**

| Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий | Вид занятий                    | Наименование оборудования, программного обеспечения |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Мультимедийная аудитория                                          | Лекции                         | Проектор                                            |
| Компьютерный класс                                                | Лабораторные работы            | САПР Synopsys, специализированные библиотеки        |
| Компьютерный класс                                                | Практические занятия, семинары | Проектор                                            |
| Компьютерный класс                                                | Курсовое проектирование        | САПР Synopsys, специализированные библиотеки        |

##### **4.2. Учебно-методическое обеспечение программы**

Перечень используемой учебной литературы и информационных ресурсов для каждой дисциплины (модуля) представлен в рабочих программах соответствующих дисциплин.

Дополнительно для всех дисциплин в учебном компьютерном классе размещены:

- документация на программные продукты Synopsys;
- электронные учебные пособия по смежным дисциплинам.

Студенты имеют также возможность использовать ЭМИРС (система ОРОКС) по адресу [emirs.miet.ru](http://emirs.miet.ru) на котором размещены учебные ресурсы, разработанные в МИЭТ

#### **5. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ**

Оценка качества освоения программы включает текущую, промежуточную и итоговую аттестацию обучающихся. Формы и процедуры текущего и промежуточного контроля, сведения об оценочных средствах, типовых заданиях, контрольные и др. представлены в содержании учебной программы дисциплины.

Итоговая аттестация определяет уровень и качество освоения выпускниками программы переподготовки. Итоговая аттестация заключается в оценке степени освоения содержания всех учебных программ обучающимися.

Результаты промежуточной аттестации по отдельному предмету определяют уровень освоения выпускником учебного материала, предусмотренного учебной программой по дисциплине в рамках программы профессиональной переподготовки.

#### 6. СОСТАВИТЕЛИ ПРОГРАММЫ

Профессор кафедры ПКИМС, д.т.н.



Беспалов В.А.

Доцент кафедры ПКИМС



Миндеева А.А.

Доцент кафедры ПКИМС



Коршунов А.В.

Зам. кафедрой ПКИМС



С.В.Гаврилов

Согласовано: Директор ДРОП



Н.Ю. Соколова

**ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ, ВНОСИМЫХ В РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ  
(2020/2022 уч.год)**

| <b>№ пп</b> | <b>Дата внесения<br/>изменения</b> | <b>Номер пункта</b> | <b>Суть изменения</b>                                                                                                                                                                | <b>Зав. кафедрой</b> |
|-------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1           | 28.12.2021                         | 2.1                 | Ввести в 4 семестре дисциплину "Разработка графических интерфейсов" 8ч лекции, 16ч.лабы, диф.зачет                                                                                   |                      |
| 2           | 28.12.2021                         | 2.1                 | Переименовать дисциплину "Операционная система LINUX". Новое название "ИТ-инфраструктура САПР" с сохранением нагрузки.                                                               |                      |
| 3           | 28.12.2021                         | 2.1                 | Переименовать дисциплину "Маршрут проектирования ЦИС. Физический синтез". Новое название "Физическая и схемотехническая верификация" с нагрузкой 8ч лекции, 16ч лаб.работы, экзамен. |                      |
| 4           | 28.12.2021                         | 2.1                 | Переименовать дисциплину "Маршрут проектирования ЦИС. Логическое проектирование". Новое название "Автоматизированный синтез и оптимизация" с сохранением нагрузки.                   |                      |