

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 15:36:47

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d78c8f8bea882b8d602

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



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

И.Г. Игнатова

«14» сентября 2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Компоненты интегральных схем и их модели»

Направление подготовки – 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Проектирование приборов и систем»

Москва 2020

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих **компетенций** образовательных программ:

**Компетенция ПК-3. Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований**

**Сформулирована на основе профессионального стандарта 40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»**

**Обобщенная трудовая функция D «Разработка электрической принципиальной схемы СФ-блока»**

**Трудовая функция D/01.7 «Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки»)**

| Подкомпетенции, формируемые в дисциплине                                          | Задачи профессиональной деятельности                                                                                                                                          | Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-3.КИСиМ<br>Способен выбирать модели и проектировать элементы интегральных схем | Разработка физических и математических моделей, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере | <p><b>Знает:</b> особенности физики работы интегральных биполярных и МДП приборов с учетом масштабирования; принципы использования моделей компонентов при автоматизированном проектировании, моделировании и характеристики СБИС; методы построения моделей компонентов, параметры моделей и их классификацию, методы верификации параметров моделей; принципы, позволяющие связать модели нанoeлектронных компонентов, используемых в системах автоматизированного схемотехнического проектирования, с параметрами физической структуры нанoeлектронных устройств.</p> <p><b>Умеет:</b> обоснованно выбирать математические модели интегральных элементов и их параметры; выполнять коррекцию моделей приборов для компьютерного моделирования с учетом изменения параметров масштабированных приборов.</p> <p><b>Опыт деятельности :</b> по разработке физических и математических моделей наноструктур; по схемотехническому проектированию на базе программно-аппаратных средств высокого уровня с использованием математических моделей нанoeлектронных устройств.</p> |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входными требованиями к дисциплине является знание основ твердотельной электроники, простейших схемотехнических моделей интегральных транзисторов.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

| Курс | Семестр | Общая трудоёмкость (ЗЕ) | Общая трудоёмкость (часы) | Контактная работа |                                                                  |                             | Самостоятельная работа (часы) | Промежуточная аттестация |
|------|---------|-------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|      |         |                         |                           | Лекции (часы)     | Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы) | Практические занятия (часы) |                               |                          |
| 1    | 1       | 3                       | 108                       | -                 | 16                                                               | 16                          | 76                            | Зачет                    |

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| № и наименование модуля                                                                           | Контактная работа |                      |                                                                  | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                   | Лекции            | Практические занятия | Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы) |                        |                                           |
| 1. Основные понятия. Масштабирование транзисторных структур. Моделирование пассивных компонентов. | --                | 4                    | --                                                               | 8                      | Подготовка доклада                        |
| 2. Моделирование наноразмерных МДП транзисторов. SPICE-модели МДП-транзистора и их параметры.     | --                | 6                    | 16                                                               | 8                      | Подготовка доклада                        |
|                                                                                                   |                   |                      |                                                                  | 12                     | Защита лабораторных работ                 |
|                                                                                                   |                   |                      |                                                                  | 2                      | Выполнение и защита практического задания |
| 3. Моделирование биполярных транзисторов. SPICE-модели биполярных транзисторов и их параметры.    | --                | 6                    | --                                                               | 8                      | Подготовка доклада                        |
|                                                                                                   |                   |                      |                                                                  | 2                      | Тестирование                              |

##### 4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены.

##### 4.2. Практические занятия

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | 1                       | 2                    | Построение моделей компонентов. Физический и формальный способы построения моделей. Параметры моделей и их классификация. Методы верификации параметров моделей. Современные структуры наноразмерных транзисторов. МДП-транзисторы и биполярные транзисторы. Основные направления и проблемы |

|   |   |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---|---|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   | развития технологии наноразмерных ИС. Правила масштабирования ИС.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|   | 2 | 2 | Полупроводниковые диоды в ИС на основе биполярных и МДП-транзисторов. Пассивные компоненты и их модели. Методы реализации резисторов и конденсаторов. Модели резисторов и конденсаторов. Трассы соединений в ИМС. Реактивности соединительных трасс и их моделирование.                                                                                                                                                                                     |
| 2 | 1 | 2 | Масштабные факторы, определяющие пороговое напряжение, напряжение смыкания, напряжение и ток насыщения ВАХ, крутизну ВАХ, коэффициент усиления напряжения и предельную частоту. Нейтрализация эффекта смыкания. Методы повышения собственного коэффициента усиления. МДП-транзисторы со структурой кремний на изоляторе.                                                                                                                                    |
|   | 2 | 2 | Моделирование наноразмерных МДП-транзисторов с учетом физических ограничений. Классическая модель МДП-транзистора. Основные параметры модели и их влияние на электрические характеристики. Ограничение скорости носителей заряда в канале. Влияние этого эффекта на крутизну и предельную частоту транзистора. Предельное быстродействие. Подвижность носителей в канале. Подпороговый ток. Влияние параметров структуры на величину подпорогового тока.    |
|   | 3 | 2 | Влияние размеров канала на пороговое напряжение. Эффект смыкания областей пространственного заряда. SPICE-модели МДП-транзистора и их параметры. Нелинейная модель МДП транзистора. Эквивалентная схема. Связь элементов эквивалентной схемы и элементов транзисторной структуры. Ограничения модели 1-го уровня. Особенности моделей 2-го и 3-го уровней и их возможности. Особенности моделей BSIM. Линейная модель МДП транзистора. Эквивалентная схема. |
| 3 | 1 | 2 | Физические эффекты и ограничения при моделировании биполярных транзисторов. Модель Гуммеля-Пуна. Физические основы и уравнения. Упрощенная и полная модели. Возможности учета эффектов малых размеров и изменения параметров в зависимости от режима работы. Ограничения модели.                                                                                                                                                                            |
|   | 2 | 2 | SPICE-модели биполярных транзисторов. Эквивалентная схема модели Гуммеля-Пуна.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|   | 3 | 2 | Линейная модель биполярного транзистора. Эквивалентная схема. Учет внутренних шумов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

#### 4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)

| № модуля дисциплины | № лабораторной работы | Объем занятий (часы) | Краткое содержание                                                                                                                              |
|---------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2                   | 1                     | 4                    | Типы изоляции интегральных элементов. Эффекты масштабирования. Проектирование топологии. Учет паразитных эффектов при проектировании топологии. |
|                     | 2                     | 4                    | Методы и средства экстракции SPICE – параметров. Параметры модели BSIM3. Экстракция SPICE – параметров по результатам моделирования             |
|                     | 3                     | 4                    | Верификация параметров модели МДП- транзисторов 1-го уровня по заданным статическим характеристикам                                             |
|                     | 4                     | 4                    | Исследование влияния параметров структуры МДП - транзистора на основные характеристики (модель 3-го уровня). Выполнение комплексного задания    |

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

| № модуля дисциплины | Объем занятий (часы) | Вид СРС                                       |
|---------------------|----------------------|-----------------------------------------------|
| 1                   | 8                    | Подготовка доклада                            |
| 2                   | 12                   | Подготовка к лабораторным работам и их защите |
|                     | 8                    | Подготовка доклада                            |
|                     | 2                    | Выполнение практического задания              |
| 3                   | 8                    | Подготовка доклада                            |
|                     | 2                    | Подготовка к тестированию                     |

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены.

## 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Методические указания студентам по изучению дисциплины «Компоненты интегральных схем и их модели».

**Модуль 1** «Основные понятия. Масштабирование транзисторных структур. Моделирование пассивных компонентов»

- методические материалы для подготовки к докладу;
- тексты и презентации с теоретическими материалами, список литературы.

**Модуль 2** «Моделирование наноразмерных МДП транзисторов SPICE-модели МДП-транзистора и их параметры»

- материалы для подготовки к лабораторным работам: лабораторный практикум с описанием теоретических сведений, порядка выполнения и вариантов заданий;
- методические материалы для подготовки к докладу;
- тексты и презентации с теоретическими материалами, список литературы.

**Модуль 3** «Моделирование биполярных транзисторов. SPICE-модели биполярных транзисторов и их параметры»

- методические материалы для подготовки к докладу;
- тексты и презентации с теоретическими материалами, список литературы;
- тренировочные варианты тестовых заданий.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Литература

1. Старосельский, В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебное пособие / В. И. Старосельский; – М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009. – 463 с. – ISBN 978-5-9692-0261-0.
2. Gildenblat, G. Compact Modeling: Principles, Techniques and Applications / G. Gildenblat; – Springer, 2010. – 527 с. – ISBN 978-90-481-8613-6. - URL : <http://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-8614-3> (дата обращения: 27.09.2018)
3. Артамонова, Е.А. Лабораторный практикум по дисциплине «Нанoeлектронные устройства и их модели» / Артамонова Е.А., Лосев В.В.; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 68 с.
4. Старосельский, В.И. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Нанoeлектронные устройства и их модели» / Старосельский В.И., Титова И.Н.; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 40 с.
5. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2005. - 448 с.. - ISBN 5-94836-059-8
6. Нанотехнологии в электронике: Вып. 2 / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2013. - 688 с. - (Мир электроники). - ISBN 978-5-94836-353-0

### Периодические издания

1. IEEE Electron Device Letters. - USA, 1980. - ISSN 0741-3106. – URL: - <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=55> (дата обращения: 01.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. IEEE Transactions on Electron Devices. - USA : IEEE - . - ISSN 0018-9383. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16> (дата обращения: 01.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

В ходе реализации обучения используются **смешанное обучение**, основанное на интеграции технологий традиционного и электронного обучения. Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя. Информационно-коммуникативные технологии с использованием сети Интернет применяются для консультирования студентов, в том числе с использованием сервисов Zoom.

Дисциплина может реализовываться с использованием дистанционного обучения. При дистанционном обучении проводятся online практические занятия с использованием платформы Zoom, вся информация доступна для студентов через среду ОРИОКС.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень программного обеспечения              |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Учебная аудитория                                                         | Мультимедийное оборудование                                               | Операционная система Windows, Microsoft Office |
| Компьютерный класс                                                        | Компьютеры с возможностью подключения к сети Интернет и доступом в си-    | САПР Cadence, САПР TCAD Synopsys               |

|                                      |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | стему ОРИОКС                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                     |
| Помещение для самостоятельной работы | Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечение доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ | Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузеры (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC |

## **10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ**

ФОС по компетенции/подкомпетенции ПК-3.КИСиМ Способен выбирать модели и проектировать элементы интегральных схем.

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины в электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **11.1. Особенности организации процесса обучения**

В дисциплине предусмотрены следующие виды занятий: практические занятия, лабораторные работы и самостоятельная работа. Форма промежуточной аттестации – зачет без оценки. Теоретические материалы для подготовки к практическим занятиям публикуются в ОРИОКС и доступны студенту до начала занятий.

Студентам рекомендуется до начала лабораторных работ ознакомиться с материалами в системе ОРИОКС и сделать заготовку для отчета в тетради, включая цель работы, порядок выполнения и табличные формы для внесения измеренных данных.

Тему доклада выдает преподаватель. Для подготовки доклада необходимо не только изучить основную и дополнительную литературу, приведенную в рабочей программе дисциплины, но и произвести самостоятельный поиск источников. По результатам поиска и последующего анализа необходимо составить реферативный доклад, оформленный в виде текстового файла и презентации.

Рекомендуемый объем доклада – 7-9 страниц с учетом титульного листа и списка литературы. Текст доклада должен быть оформлен в виде файла PDF, DOC или DOCX. Необходимо соблюдать следующие правила оформления: шрифт Times New Roman, 13 кегль; отступ первой строки абзаца – 1,25 см; полуторный межстрочный интервал; между абзацами дополнительный интервал отсутствует; допускается выделять полужирным шрифтом заголовки и подзаголовки; поля страницы – по 2 см; страницы должны быть пронумерованы. Первая (титульная) страница включается в нумерацию, но номер на ней

не проставляется; титульная страница должна содержать информацию о теме доклада, ФИО докладчика, год и номер группы.

Презентация должна быть подготовлена в формате PPT, PPTX или PDF. Рекомендуемый объем презентации – 7-9 слайдов, включая титульный. Титульный слайд должен содержать информацию о теме доклада, ФИО докладчика, год и номер группы.

Правила оформления презентации: размер шрифта заголовков – 28-32; размер основного шрифта – 20-24; слайды должны быть пронумерованы; не допускается размещение на слайде большого количества текста или объемных таблиц; не рекомендуется использовать изображения и анимацию, не несущие смысловой нагрузки; для упрощения восприятия информации рекомендуется использовать структурированный текст (4-7 пунктов или «буллетов») и (или) схемы.

### **11.2. Система контроля и оценивания**

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система. Баллами оцениваются: работа на практических занятиях и самостоятельная работа по подготовке и защите докладов (до 60 баллов), выполнение лабораторных работ и комплексного задания (до 40 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету («зачтено» или «незачтено»). Структура и график контрольных мероприятий приведен в ОРИОКС URL: <http://orioks.miet.ru/>.

**Разработчик:**

Доцент каф. ИЭМС, к.т.н.  / А.Г. Балашов /

Рабочая программа дисциплины «Компоненты интегральных схем и их модели» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Проектирование приборов и систем» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11.2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой ИЭМС



/ Ю.А. Чаплыгин /

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК



/ И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки



/ Т.П. Филиппова /