

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра радиоэлектроники и защиты информации**

**Авторы-составители: Измestьев Игорь Васильевич  
Лунегов Игорь Владимирович  
Манцуpов Алексей Валерьевич**

Рабочая программа дисциплины

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ**

Код УМК 76826

Утверждено  
Протокол №4  
от «24» июня 2021 г.

Пермь, 2021

## **1. Наименование дисциплины**

Численные методы моделирования радиоэлектронных схем

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление подготовки: **03.03.03** Радиофизика  
направленность Электроника, микро- и наноэлектроника

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Численные методы моделирования радиоэлектронных схем** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.03** Радиофизика (направленность : Электроника, микро- и наноэлектроника)

**ОПК.3** Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности, для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

#### **Индикаторы**

**ОПК.3.1** Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.03 Радиофизика (направленность: Электроника, микро- и наноэлектроника)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	11
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	14
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	28
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (11 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Численные методы моделирования радиоэлектронных схем. Первый семестр**

Рассматриваются физико-математические основы алгоритмов и программ, применяемых при разработке схемотехнических САПР радиоэлектронных средств. Основное внимание уделено автоматизированному формированию уравнений с использованием теории графов и алгоритма узловых потенциалов. Рассматриваются численные методы решения таких уравнений в статическом и динамическом режимах работы различных аналоговых радиоэлектронных устройств. Значительное внимание уделяется изучению математических моделей различных полупроводниковых приборов и методов определения параметров этих моделей.

#### **Тема 1. Математическое моделирование в радиоэлектронике**

За последние 40 лет программы автоматизации в области радиоэлектроники получили существенное развитие. Причем, автоматизация используется на всех иерархических уровнях от проектирования элементной базы до уровня разработки структуры радиосистемы, от проектирования отдельного транзистора до сложнейших микроконтроллеров и микропроцессоров. В данной теме дается обзор методов проектирования на различных уровнях сквозного проектирования. Рассматриваются свойства базовых элементов, применяемых на различных уровнях. Рассматриваются как физические основы, так и математические алгоритмы. Перечислены основные программы для профессионального сквозного проектирования радиосредств.

#### **Тема 2. Формирование математической модели электронных схем на основе алгоритма узловых потенциалов**

Даны определения и рассмотрены основные свойства ориентированных и неориентированных графов, отражены методы представления их в матричной форме. На основе законов Кирхгофа записаны топологические уравнения. Определены базовые элементы радиосхем для моделирования на макроуровне. Дан вывод уравнения для узловых потенциалов, обсуждены вопросы, связанные с решением уравнения. Рассмотрен вопрос о сведении многополюсника к четырехполюснику, что позволяет достаточно быстро получить такие характеристики четырехполюсника, как комплексный коэффициент передачи, входное и выходное сопротивление.

#### **Тема 3. Схемотехническое моделирование в базисе переменных состояния**

Рассмотрены вопросы формирования правильного дерева графа электрической схемы, алгоритм формирования системы уравнений в базисе переменных состояния. Такой подход рассматривается как альтернатива методу узловых потенциалов, позволяющий моделировать радиосхему во временной и частотной областях.

#### **Тема 4. Моделирование полупроводниковых приборов**

Первая электрофизическая и математическая модели биполярного транзистора была предложена Эберсом и Моллом в 1954 году. С тех пор многие ученые и инженеры занимались её совершенствованием. В настоящее время вопросы вполне адекватного математического моделирования обобщены и применяются в SPICE-совместимых профессиональных программах. Рассмотрению таких моделей на макроуровне и посвящена данная тема. Изучаются принципы моделирования полупроводниковых диодов, стабилитронов, биполярных и униполярных транзисторов. Операционные усилители для целей применения их в схемотехнике моделируются на более высоком суперуровне.

#### **Тема 5. Моделирование процессов в радиоэлектронных устройствах в различных режимах работы**

Рассмотрен подход к часто применяемому схемотехническому моделированию в базисе узловых потенциалов. При моделировании на постоянном токе (статическое моделирование) уравнения как правило решаются методом Ньютона в сочетании с методом движущейся области сходимости. В

частотной области сначала выполняется статическое моделирование, осуществляется линеаризация схемы, а затем узловые потенциалы обычно рассчитывают методом Гаусса. Во временной области решение находят в результате применения дискретных схем замещения реактивных элементов схем. Статистическое моделирование с учетом разброса внутренних параметров выполняют методом Монте-Карло.

### **Тема 6. Пакеты программ автоматизации схемотехнического и сквозного проектирования**

С помощью информации, имеющейся в глобальной сети и литературных источниках студенты самостоятельно составляют обзор современных САПР, которые применяются при научных исследованиях и в электронной промышленности. Особое внимание уделяется программам сквозного проектирования Altium Designer и Cadence. При моделировании в учебной лаборатории студентам рекомендуется применять SPICE-совместимую свободно распространяемую программу MicroCAP.

### **Итоговое контрольное мероприятие. Зачет**

Для подготовки к зачету студентам предлагаются следующие вопросы:

1. Математическое моделирование в науке и технике. Этапы формирования математических моделей объектов и явлений внешнего мира по А.Н.Тихонову. Пример.
2. Классификация математических моделей (ММ) цепей и устройств радиоэлектроники. ММ на микро-, макро- и мега-уровнях. Примеры.
3. Адекватность, универсальность и экономичность ММ, применяемых в радиоэлектронике. Примеры.
4. ММ на микро-уровне. Основные положения методов конечных разностей и конечных элементов. Примеры.
5. Мат. моделирование на макро-уровне. Компонентные и топологические уравнения в методах переменных состояния и узловых потенциалов.
6. Мат. моделирование на мега-уровне. ММ операционного усилителя в конкретной САПР.
7. Методы решения задач структурного моделирования и проектирования.
8. Функциональное моделирование как моделирование на мега-уровне. Базисные элементы функциональных схем.
9. Моделирование линейных инерционных функциональных элементов во временной и частотной областях.
10. Моделирование нелинейных инерционных функциональных элементов. Принципы построения функциональных схем. Пример.
11. Нелинейная и линеаризованная модели полупроводникового диода. Параметры модели в одной из САПР и методы их определения.
12. Нелинейная и линеаризованная модели полупроводникового стабилитрона. Параметры ММ в одной из САПР и методы их определения.
13. Нелинейная модель биполярного транзистора. Параметры ММ в одной из САПР и методы их определения.
14. Математическое моделирование униполярных транзисторов. Параметры ММ в одной из САПР и методы их определения.
15. Моделирование операционного усилителя. Параметры ММ в одной из САПР и методы их определения.
16. Использование теории графов при моделировании электрических цепей. Определение матрицы смежности.
17. Формирование матрицы инцидентий. Закон Кирхгофа для тока в матричной форме.
18. Формирование контурной матрицы. Закон Кирхгофа для напряжений в матричной форме.
19. Формирование матрицы сечений. Закон Кирхгофа для тока на основе матрицы сечений.
20. Вывод уравнения для узловых потенциалов.

21. Матрица узловых проводимостей и вектор эффективных источников тока в методе узловых потенциалов. Алгоритм формирования уравнения для узловых потенциалов.
22. Решение уравнения для узловых потенциалов методом Гаусса. Сведение схемы к эквивалентному четырехполюснику и определение его частотных схемных функций.
23. Расчет статического режима электронных схем. Основное уравнение и методы его решения. Пример.
24. Компьютерный анализ переходных процессов в электронных устройствах. Дискретные модели реактивных компонентов.
25. Дискретные модели полупроводниковых приборов.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Зенков, А. В. Численные методы : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. В. Зенков. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 122 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-04268-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://urait.ru/bcode/415025>
2. Головицына М. В. Проектирование радиоэлектронных средств на основе современных информационных технологий: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств", направления 210200 "Проектирование и технология электронных средств"/М. В. Головицына.-Москва:Интернет-Университет информационных технологий,2011, ISBN 978-5-9963-0463-9.-5021.
3. Головицына, М. В. Проектирование радиоэлектронных средств на основе современных информационных технологий : учебное пособие / М. В. Головицына. — 3-е изд. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 503 с. — ISBN 978-5-4497-0690-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/97578>
4. Сигналы и их преобразования в линейных радиотехнических цепях. Лабораторный практикум : учебное пособие / В. Я. Баскей, В. М. Меренков, Д. О. Соколова, А. Н. Яковлев ; под редакцией А. Н. Яковлев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 78 с. — ISBN 978-5-7782-1619-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/45159.html>

### Дополнительная:

1. Автоматизация схемотехнического проектирования: учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов/В. Т. Фролкин [и др.] ; ред. В. Н. Ильин.-Москва:Радио и связь,1987.-367.
2. Разевиг Всеволод Данилович Система схемотехнического моделирования Micro-Cap V/Всеволод Данилович Разевиг.-М.,1997, ISBN 5-85954-069-8.-273.
3. Чуа Л. О., Лин П.-М. Машинный анализ электронных схем (алгоритмы и вычислительные методы): перевод с английского/Л. О. Чуа, П. -М. Лин ; ред. В. Н. Ильин ; пер. Е. С. Виленкин [и др.].-Москва:Энергия,1980.-638.
4. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Радиотехника"/А. А. Головкин [и др.] ; ред. О. В. Алексеев.-Москва:Высшая школа,2000, ISBN 5-06-002691-4.-479.-Библиогр.: с. 473-475
5. Лапчик М. П., Рагулина М. И., Хеннер Е. К. Численные методы: учебное пособие для вузов/М. П. Лапчик, М. И. Рагулина, Е. К. Хеннер ; ред. М. П. Лапчик.-Москва:Академия,2004, ISBN 5-7695-1339-X.-384.-Библиогр.: с. 381
6. Тугов Н. М., Глебов В. А., Чарыков Н. А. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов/Н. М. Тугов, В. А. Глебов, Н. А. Чарыков ; ред. В. А. Лабунцов.-Москва:Энергоатомиздат,1990, ISBN 5-283-00554-2.-576.-Библиогр.: с. 566-567
7. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" направления "Проектирование и технология электронных средств"/Ю. Л.

Муромцев [и др.].-Москва:Академия,2010, ISBN 978-5-7695-6256-3.-3801.-Библиогр.: с. 376-378

8. Алан, Оппенгейм Цифровая обработка сигналов / Оппенгейм Алан, Шафер Рональд ; перевод С. А. Кулешов, Е. Б. Махиянова, Н. Ф. Орлова. — Москва : Техносфера, 2012. — 1048 с. — ISBN 978-5-94836-329-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт].  
<http://www.iprbookshop.ru/26906>

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://electricalschool.info/> Школа для электрика

<https://studme.org/> studme.org

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Численные методы моделирования радиоэлектронных схем** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

В учебном процессе для освоения дисциплины могут использоваться различные информационные технологии:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета;
- интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта, профессиональные тематические чаты и форумы, системы аудио и видео конференций, онлайн энциклопедии и т.д.).

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

Visual Studio Community

Altium Desiner

MicroCap 8.0demo

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет приложений «LibreOffice»

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

В учебном процессе для освоения дисциплины могут использоваться компьютерное и мультимедийное оборудование: лекции готовятся в формате презентаций (MS Power Point), где отражаются ключевые содержательные моменты материалов курса.

Аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена презентационной техникой:

- 1) персональный компьютер или ноутбук с соответствующим программным обеспечением;
- 2) мультимедийное оборудование (проектор, экран);
- 3) маркерная доска и маркеры (или меловая доска и мел).

Аудитория для практических занятий:

Компьютерный класс кафедры радиоэлектроники и защиты информации с техническим оснащением,

представленным в паспорте.

Групповые (индивидуальные) консультации, мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран для проектора, компьютер/ноутбук с соответствующим программным обеспечением), а также меловой (и) или маркерной доской

Помещение для самостоятельной работы:

Компьютерный класс кафедры радиоэлектроники и защиты информации, помещения библиотеки с персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной сетям

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru))

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Численные методы моделирования радиоэлектронных схем**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ОПК.3**

**Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности, для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике**

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ОПК.3.1</b> Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности</p>	<p>Владеть методами моделирования схем, входящих в состав радиоэлектронных средств. Знать физические принципы функционирования полупроводниковых приборов различных типов. Иерархические уровни представления их математических моделей. Адекватные и вполне адекватные модели, применяемые в различных схемотехнических САПР. Параметры SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методы их определения.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не владеет методами моделирования схем, входящих в состав радиоэлектронных средств. Не знает физические принципы функционирования полупроводниковых приборов различных типов. Не имеет представления: -о иерархических уровнях представления их математических моделей. -об адекватных и вполне адекватных моделях, применяемые в различных схемотехнических САПР. -о параметрах SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методах их определения</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания физических принципов функционирования полупроводниковых приборов различных типов; Имеет представление : -о иерархических уровнях представления их математических моделей. -об адекватных и вполне адекватных моделях, применяемые в различных схемотехнических САПР. -о параметрах SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методах их определения</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания физических принципов функционирования полупроводниковых приборов различных типов. Сформированное представление - ерархических уровнях представления их математических моделей. -об адекватных и вполне адекватных моделях, применяемые в различных схмотехнических САПР - параметрах SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методах их определения</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Хорошо сформированные знания физических принципов функционирования полупроводниковых приборов различных типов. Сформированное представление - о иерархических уровнях представления их математических моделей -об адекватных и вполне адекватных моделях, применяемые в различных схмотехнических САПР -о параметрах SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методах их определения</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : 2021

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Тема 1. Математическое моделирование в радиоэлектронике <b>Входное тестирование</b>	проверяются остаточные знания по курсам: основы радиоэлектроники и численные методы
<b>ОПК.3.1</b> Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Тема 3. Схемотехническое моделирование в базисе переменных состояния <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Иерархические уровни моделирования в области радиоэлектроники. Моделирование радиоэлектронных схем в базисах узловых потенциалов и переменных состояния. Математическое обеспечение схемотехнических САПР.
<b>ОПК.3.1</b> Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Тема 6. Пакеты программ автоматизации схемотехнического и сквозного проектирования <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Алгоритмы и методы расчета характеристик радиоэлектронных схем на постоянном токе. Анализ чувствительности. Алгоритмы и методы расчета частотных характеристик линейных четырехполюсников. Алгоритмы и методы расчета основных импульсных характеристик линейных четырехполюсников. Анализ нелинейных искажений сигналов. Расчет спектров импульсных сигналов.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ОПК.3.1</b> Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Итоговое контрольное мероприятие. Зачет <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Графы и их матричное представление в алгоритмах математического моделирования электронных схем. Математическое моделирование полупроводниковых приборов и определение параметров моделирования на различных иерархических уровнях. Адекватные и вполне адекватные spice-модели полупроводниковых приборов. Математические модели и алгоритмы схемотехнического моделирования на постоянном и переменном токе в частотной и временной областях.

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Тема 1. Математическое моделирование в радиоэлектронике

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
При тестировании допущено менее 10% ошибок	81
При тестировании допущено менее 30% ошибок	61
При тестировании допущено менее 50% ошибок	41
При тестировании допущено более 50% ошибок	0

#### Тема 3. Схемотехническое моделирование в базисе переменных состояния

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Применение теории графов в схемотехническом моделировании. Матричный подход к описанию электрических схем. Свойства полной и усеченной матриц инцидентности. Законы Кирхгофа в матричной форме.	10
Принципы алгоритмов узловых потенциалов и переменных состояния схемотехнического моделирования.	10
Вывод уравнения для узловых потенциалов.	5
Микро-, макро- и мега- иерархические уровни математического моделирования	

радиоэлектронных средств и виды их математического обеспечения.	5
---	---

### **Тема 6. Пакеты программ автоматизации схемотехнического и сквозного проектирования**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Алгоритмы решения уравнения для узловых потенциалов на постоянном токе. Анализ чувствительности.	10
Расчет и анализ частотных характеристик линейных четырехполюсников. Нелинейные искажения и оценка их критериев.	10
Расчет и анализ переходных процессов в радиоэлектронных схемах. Определение основных импульсных характеристик линейных четырехполюсников средствами САПР. Спектральный анализ континуальных сигналов. Расчет параметров нелинейных искажений.	10

### **Итоговое контрольное мероприятие. Зачет**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Графы и их матричное представление при моделировании электрических схем. Вывод уравнения для узловых потенциалов.	10
Математические модели и алгоритмы схемотехнического моделирования на постоянном токе. Анализ чувствительности.	10
Математические модели и алгоритмы анализа схем на переменном токе. Расчет частотных характеристик линейных четырехполюсников средствами САПР.	10
Математические модели и алгоритмы анализа схем во временной области. Расчет переходных процессов в среде схемотехнической САПР. Нелинейные искажения и спектральный анализ импульсных сигналов.	10