

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

**Авторы-составители: Изместьев Игорь Васильевич
Лунегов Игорь Владимирович
Манцуров Алексей Валерьевич**

**Рабочая программа дисциплины
СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
Код УМК 90415**

Утверждено
Протокол №4
от «24» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Схемотехническое моделирование

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

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

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Схемотехническое моделирование** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.03.03 Радиофизика (направленность : Электроника, микро- и нанoeлектроника)

ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей

ПК.1 способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

4. Объем и содержание дисциплины

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

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Схемотехническое моделирование. 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

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. 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
2. 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 // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/97578>

Дополнительная:

1. Автоматизация схмотехнического проектирования: учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов / ред. В. Н. Ильин. - М.: Радио и связь, 1987. - 367.
2. Чуа Леон О, Пен-Мин Л. Машинный анализ электронных схем: Алгоритмы и вычисл. методы: Пер. с англ. / Под ред. В. Н. Ильина. - М.: Энергия, 1980. - 638.
3. Разевиг Всеволод Данилович Система схмотехнического моделирования Micro-Cap V / Всеволод Данилович Разевиг. - М., 1997, ISBN 5-85954-069-8. - 273.
4. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: Учеб. пособие / Под ред. О. В. Алексева. - М.: Высш. шк., 2000, ISBN 5-06-002691-4. - 479. - Библиогр.: с. 473-475
5. Тугов Николай Михайлович, Глебов В. А., Чарыков Н. А. Полупроводниковые приборы: Учеб. для вузов / Под ред. и с предисл. В. А. Лабунцова. - М.: Энергоатомиздат, 1990, ISBN 5-283-00554-2. - 576. - Библиогр.: с. 566-567
6. 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" / [Муромцев Ю. Л. и др.]. - Москва: Академия, 2010, ISBN 978-5-7695-6256-3. - 3801. - Библиогр.: с. 376-378

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<https://www.radiosovet.ru> Библиотека радиолюбителя

<http://jre.cplire.ru/> ЖУРНАЛ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

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

Образовательный процесс по дисциплине **Схемотехническое моделирование** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

1. Visual Studio Community
2. Altium Desiner
3. MicroCap 8.0demo
4. Операционная система ALT Linux;
5. Офисный пакет приложений «LibreOffice».

SPICE-совместимое программное и методическое обеспечение для моделирования радиоэлектронных схем

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (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

Лекционная аудитория.

Проектор, экран для проектора, доска маркерная/меловая, компьютер (ноутбук). Компьютерный класс с установленной схемотехнической САПР.

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 и помещения библиотеки с персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной сетям

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера 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
Схемотехническое моделирование**

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

| Компетенция | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|---|--|--|
| <p>ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> | <p>Уметь использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> | <p align="center">Неудовлетворител Отсутствие умения использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> <p align="center">Удовлетворительн Частично сформированное умение использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> <p align="center">Хорошо В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> <p align="center">Отлично Сформированное умение использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> |
| <p>ПК.1 способность понимать принципы работы и</p> | <p>Владеть методами моделирования схем, входящих в состав радиоэлектронных</p> | <p align="center">Неудовлетворител Не владеет методами моделирования схем, входящих в состав радиоэлектронных</p> |

| Компетенция | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--|--|--|
| <p>методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p> | <p>средств. Знать физические принципы функционирования полупроводниковых приборов различных типов. Иерархические уровни представления их математических моделей. Адекватные и вполне адекватные модели, применяемые в различных схмотехнических САПР. Параметры SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методы их определения.</p> | <p>Неудовлетворител 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 схмотехнических САПР. -о параметрах SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методах их определения</p> <p>Удовлетворительн 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 схмотехнических САПР.</p> <p>Хорошо 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</p> <p>Отлично Хорошо Сформированные нания физических принципов функционирования полупроводниковых приборов различных типов. Сформированное представление - о иерархических уровнях представления их математических моделей</p> |

| Компетенция | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--------------------|--|---|
| | | Отлично -об адекватных и вполне адекватных моделях, применяемые в различных схемотехнических САПР |

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

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 41 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 41 балла

| Компетенция | Мероприятие текущего контроля | Контролируемые элементы результатов обучения |
|---|--|---|
| Входной контроль | Тема 1. Математическое моделирование в радиоэлектронике Входное тестирование | проверка остаточных знаний по курсам: основы радиоэлектроники и численные методы |
| ПК.1 способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования | Тема 2. Формирование математической модели электронных схем на основе алгоритма узловых потенциалов Защищаемое контрольное мероприятие | Иерархические уровни моделирования в области радиоэлектроники. Моделирование радиоэлектронных схем в базисах узловых потенциалов и переменных состояния. Математическое обеспечение схемотехнических САПР. |
| ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей | Тема 3. Схемотехническое моделирование в базисе переменных состояния Защищаемое контрольное мероприятие | Матричный подход для формирования модели в базисе переменных состояния. Вывод уравнений на основе законов Кирхгофа. Алгоритмы решения уравнений для переменных состояния |

| Компетенция | Мероприятие текущего контроля | Контролируемые элементы результатов обучения |
|---|---|--|
| <p>ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> | <p>Тема 4. Моделирование полупроводниковых приборов Защищаемое контрольное мероприятие</p> | <p>Физические принципы функционирования полупроводниковых приборов различных типов. Иерархические уровни представления их математических моделей. Адекватные и вполне адекватные модели, применяемые в различных схмотехнических САПР. Параметры SPICE-совместимых математических моделей полупроводниковых приборов и методы их определения.</p> |
| <p>ПК.1 способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p> | <p>Тема 5. Моделирование процессов в радиоэлектронных устройствах в различных режимах работы Итоговое контрольное мероприятие</p> | <p>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.</p> |

Спецификация мероприятий текущего контроля

Тема 1. Математическое моделирование в радиоэлектронике

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 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 2. Формирование математической модели электронных схем на основе алгоритма

узловых потенциалов

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **8**

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

Тема 3. Схмотехническое 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: **20**

Проходной балл: **8**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|--------------|
| Определение токов и напряжений в результате решения уравнений для переменных состояния. Расчет выходных характеристик четырехполюсников в частотной и временной областях | 5 |
| Определение переменных состояния. Уравнения для переменных состояния и методы их решения | 5 |

Тема 4. Моделирование полупроводниковых приборов

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **8**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|--------------|
| Математическое моделирование транзисторов различных типов. Параметры математических моделей и методы их определения. Моделирование операционных усилителей на макро-уровне. Параметры математических моделей и методы их определения | 10 |
| Математическое моделирование полупроводниковых диодов и стабилитронов. Параметры математических моделей и методы их определения | 10 |

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

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

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

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

Проходной балл: **17**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|--------------|
| Расчет и анализ переходных процессов в радиоэлектронных схемах. Определение основных импульсных характеристик линейных четырехполюсников средствами САПР. Спектральный анализ континуальных сигналов. Расчет параметров нелинейных искажений | 15 |
| Расчет и анализ частотных характеристик линейных четырехполюсников. Нелинейные искажения и оценка их критериев | 15 |
| Алгоритмы решения уравнения для узловых потенциалов на постоянном токе. Анализ чувствительности | 10 |