

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

по научной работе

Драгунов В.К.

---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В  
АСПИРАНТУРУ**

Группа научных специальностей – 2.4. Энергетика и электротехника

Научная специальность – 2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника

Москва, 2022

# **Программа специальной дисциплины по кафедре ФТЭМК**

## **1. Основные понятия электротехнических материалов и изделий**

Классификация электротехнических материалов. Физические свойства электротехнических материалов, определяющие эффективность их применения. Электрические, магнитные, механические и температурные параметры электроизоляционных материалов, их устойчивость к внешним воздействиям и времени эксплуатации. Особенности технологии производства электроизоляционных материалов и методов их утилизации.

Физические и физико-химические процессы, определяющие взаимодействие электротехнических материалов с динамическими параметрами среды. Методы анализа и оценки устойчивости параметров электротехнических материалов к механическим напряжениям, изменению температуры, влажности и другим воздействиям.

Классификация испытаний электротехнических материалов и изделий. Стандарты методов испытаний.

Методы планирования эксперимента и испытаний. Аналитические и численные методы, экспериментальные методы поиска оптимума.

Подготовка образцов к испытаниям. Обработка образцов в течение определенного времени и при определенных условиях окружающей среды с целью устранения или частичного снижения влияния предшествующего состояния материала. Различия нормализации и кондиционирования. Условия проведения экспериментов.

## **2. Механические свойства электротехнических материалов**

Механические испытания при растяжении. Закон Гука. Определение модуля упругости. Испытания на сжатие. Отношение нагрузки к исходному поперечному сечению образца. Измерение прочности материалов при изгибе. Измерение твердости материалов. Определение долговечности клеевых соединений.

## **3. Теплофизические свойства электротехнических материалов**

Поведение электротехнических материалов при нагревании (охлаждении), определение допустимых рабочих температур. Физические процессы в электротехнических материалах, приводящие к выделению тепла. Определение теплопроводности электротехнических материалов. Определение теплоемкости электротехнических материалов. Температура размягчения. Температура плавления и переработки. Термодеструкция. Дифференциальный термический анализ. Нагревостойкость электротехнических материалов. Холодостойкость при отрицательной температуре. Стойкость к термоударам.

## **4. Химико-физические свойства электротехнических материалов**

Химостойкость. Стойкость материала к разрушению (коррозии) при контактировании с водой, кислотами, щелочами, солевыми растворами, топливом, газами. Изменение внешнего вида, массы, электрических и других параметров. Тропикостойкость электротехнических материалов под воздействием климатических факторов. Радиационная стойкость. Изменение механических свойств, влияющих на электрофизические параметры электротехнических материалов, в процессе радиолиза под воздействием ионизирующих излучений. Определение воздействия внутренних частичных разрядов на изоляцию силовых конденсаторов, трансформаторов, кабелей, электрических машин.

## **5. Магнитные свойства электротехнических материалов**

Строение и свойства магнитных материалов. Магнитные материалы, применяемые в энергетике, электротехнике и радиоэлектронике.

Магнетизм микрочастиц. Классическая и квантовая теории парамагнетизма. Магнитная анизотропия и кристаллическая структура магнитных материалов. Природа магнитной анизотропии. Основные представления о магнитострикции.

Процессы намагничивания ферромагнетиков в магнитных полях. Экспериментальные методы исследования магнитных свойств. Основные особенности антиферромагнетиков. Косвенное обменное взаимодействие. Схема Крамерса-Андерсона. Феноменологическая теория антиферромагнетизма.

Закон Кюри-Вейса. Температура Нееля, асимптотическая точка Кюри. Антиферромагнитная восприимчивость.

Температурная зависимость намагниченности и определение температуры Кюри ферритов по методу Фарадея.

Электропроводность ферритов и ее зависимость от химического состава и температуры. Спектр магнитной проницаемости ферритов. Ферромагнитный резонанс. Магнитно-мягкие ферриты и области их применения. СВЧ ферриты, особенности их свойств и применение.

## **6. Электротехнические изделия**

Электрические конденсаторы. Классификация силовых конденсаторов, конструкции силовых конденсаторов. Основные параметры силовых конденсаторов. Электроизоляционные и проводниковые материалы, применяемые в электроконденсаторостроении.

Электрические кабели, провода и шнуры. Классификация, основные конструкции силовых кабелей, кабелей связи, волоконно-оптических материалов. Проводниковые, электроизоляционные и конструкционные материалы, применяемые в кабельной технике.

Системы изоляции электрических машин и трансформаторов. Микалентно-компаундированная и терморреактивная изоляция. Конструкции и материалы электрической изоляции обмоток статоров и роторов электрических машин. Материалы для главной и продольной изоляции трансформаторов.

## **Программа специальной дисциплины по кафедре ТОО**

### **1. Основные понятия и законы**

Предмет теоретической электротехники, основные этапы развития электротехники, отечественная электротехническая школа. Характеристика задач теории электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей. Электромагнитное поле как особый вид материи, две его составляющие - электрическое поле, магнитное поле. Параметры и интегральная форма основных уравнений электромагнитного поля. Энергия, силы и механические проявления электрического и магнитного полей. Электрическое напряжение и электродвижущая сила. Электрический ток, виды электрического тока. Магнитный поток и его непрерывность. Электрические и магнитные цепи. Научные абстракции, используемые в теории электрических цепей. Линейные и нелинейные цепи, цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами. Схемы электрических и магнитных цепей. Понятие о топологии схем электрических и магнитных цепей. Графы и топологические матрицы схем электрических и магнитных цепей. Законы электрических и магнитных цепей. Полные системы уравнений электрических и магнитных цепей. Установившиеся и переходные процессы в электрических и магнитных цепях. Анализ, синтез и диагностика как основные задачи теории электрических и магнитных цепей.

### **2. Теория линейных электрических цепей**

Электрические и электронные цепи в системах передачи, распространения и преобразования энергии и информации. Активные и пассивные цепи. Двухполюсники и многополюсники. Управляемые источники. Индуктивно связанные элементы. Методы расчета электрических цепей при установившихся синусоидальных и постоянных токах: метод эквивалентного генератора, метод контурных токов и узловых напряжений, методы эквивалентных преобразований

электрических цепей, комплексный метод. Мощности в цепях синусоидального и постоянного токов. Баланс мощностей.

3. Многофазные цепи. Расчет симметричных и несимметричных режимов работы трехфазных цепей. Метод симметричных составляющих.

Четырехполюсники, матрицы и основные уравнения четырехполюсников. Характеристическое сопротивление и коэффициент передачи. Схемы замещения четырехполюсников. Соединения четырехполюсников.

4. Электрические цепи при несинусоидальных периодических напряжениях и токах. Гармонический анализ периодических функций. Действующие значения мощности и токов, напряжений, электродвижущих сил. Состав высших гармоник при симметрии форм кривых напряжений и токов. Мощности в цепях с несинусоидальными напряжениями и токами.

5. Резонансные явления. Частотные характеристики цепей и методы их расчета. Элементы теории фильтров. Полоса пропускания и избирательность фильтра.

6. Переходные процессы в линейных цепях. Анализ переходных процессов. Классический и операторный методы расчета. Метод переменных состояний. Использование интегралов Дюамеля при расчете переходных процессов, передаточные функции цепи. Расчет процессов при наличии в цепи емкостных контуров и индуктивных сечений. Сведение задач расчета переходных процессов к расчету резистивных цепей - метод дискретных схем замещения. Цифровые электрические и электронные цепи,  $z$ - преобразование, уравнения состояния в  $z$ -области, передаточные функции цифровых систем в  $z$ -области.

7. Цепи с распределенными параметрами. Уравнения длинных линий, их решение для установившихся синусоидальных колебаний. Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами.

8. Теория нелинейных электрических цепей

Установившиеся процессы в нелинейных цепях. Методы расчета нелинейных электрических и магнитных цепей при постоянных токах и напряжениях.

Нелинейные цепи переменного тока и методы их расчета. Анализ установившихся процессов в нелинейных цепях переменного тока. Формирование алгебраических уравнений нелинейных резистивных электрических цепей и численные методы их решения.

Переходные процессы в нелинейных цепях. Основные методы анализа нелинейных электрических цепей - метод возмущений, метод гармонического баланса. Частотные свойства нелинейных цепей. Фазовая плоскость.

#### 9. Теория электромагнитного поля

Векторы и основные уравнения электромагнитного поля. Полная система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Граничные условия. Энергия и энергетические преобразования в электромагнитном поле. Теорема Умова-Пойнтинга.

Статические поля. Основные уравнения статических электрического и магнитного полей. Уравнение Пуассона и Лапласа. Метод зеркальных изображений. Емкость, емкостные и потенциальные коэффициенты. Краевые задачи и методы их решения. Энергия и силы в электростатическом поле.

10. Стационарные электрические и магнитные поля. Основные уравнения поля. Дифференциальная форма законов Ома, Ленца - Джоуля, Кирхгофа. Подобие статических и стационарных полей. Скалярный и векторный магнитные потенциалы. Потокосцепление. Собственная и взаимная индуктивности. Расчет индуктивностей. Энергия и силы в магнитном поле.

11. Переменное электромагнитное поле в материальной среде. Уравнения переменного магнитного поля. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Комплексные параметры среды. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Вектор Пойнтинга. Поверхностный эффект. Глубина проникновения. Электромагнитное поле в реальных проводниках, диэлектриках, ферромагнетиках и анизотропных средах.

12. Электромагнитные волны и излучение. Волновое уравнение и его решение. Гармонические волны в идеальном диэлектрике. Волны в пространстве, ограниченном проводящими границами. Волноводы и резонаторы. Типы волн.

### 13. Диагностика электрических цепей

Задача диагностики электрических цепей. Тестовая и функциональная диагностика. Корректность ее постановки, базисная постановка задачи диагностики. Этапы решения задачи диагностики: физический эксперимент, математическая обработка результатов эксперимента. Сложность решения задачи диагностики резистивных цепей: число измерений, число математических операций обработки эксперимента, число обусловленности математической модели.

### 14. Математическое моделирование цепей и электродинамических систем

Задачи математического моделирования и модели электрических цепей. Теоремы существования решений уравнений электрических цепей и корректной постановки задач моделирования. Некорректные задачи моделирования электрических цепей и общие подходы к их решению. Проблема сложности решения задач моделирования: высокая размерность, нелинейность, плохая обусловленность, жесткость и овражность задач.

15. Моделирование резистивных цепей. Формирование уравнений, машинная технология формирования уравнений.

16. Численные методы моделирования переходных процессов в электрических цепях: резистивные аналоги накопителей энергии и разностные схемы уравнений электрических цепей. Моделирование нелинейных электрических цепей в установившихся и переходных процессах. Резистивные дискретные аналоги нелинейных элементов. Машинное формирование уравнений нелинейных электрических цепей.

17. Моделирование электродинамических систем в установившихся и переходных режимах: математические модели электродинамических систем, упрощенные модели электроэнергетических систем в переходных процессах.

### 18. Информационные технологии электротехники

Технологии машинного расчета электрических цепей. Задачи машинного расчета электрических цепей, методы и технологии их решения. Формализация описания электрических цепей. Топологические списки, технологии ввода

данных для расчета цепей. Технология формирования узловых уравнений: принцип поэлементного вклада. Проблемы численной обработки узловых уравнений. Условия существования единственного решения узловых уравнений. Оценка точности решения узловых уравнений по точности задания исходных данных и числу обусловленности узловых матриц. Технологии работы с конкретными программами расчета электрических цепей и электромагнитных полей. Знакомство с программами расчета электрических цепей и электромагнитных полей (Matlab, Desing, Canter, Qfield, Ansys, Elcut т.д.) и средой Labview работы с виртуальными инструментами. Технологии работы с компьютерными программами и средами при расчете электрических цепей и электромагнитных полей.

#### **Основная литература:**

1. Теоретические основы электротехники /К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин. Т.1-3, - СПб, 2009.
2. Л.Р.Нейман, К.С.Демирчян. Теоретические основы электротехники. Т.1,2 Л.: Энергоиздат, 1981.
3. Основы теории цепей. /Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. - М.: Высшая школа, 1989.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Гардарики, 2008.
5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники в 2-х томах / Под редакцией П.А.Бутырина. - М.:, издательство МЭИ, 2012.
6. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. Ч. 1. - М.: Мир - 1988 - 336 с.
7. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. Ч. 2. - М.: Мир - 1988 - 360 с.
8. Шакиров М.А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схемоанализ и диакоптика. - СПб.: Издательство СПбГТУ, 2001.
9. Giorgio Rizzoni Fundamentals of Electrical Engineering - NY.: McGraw-Hill Higher Education, 2008
10. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 3/под ред. К.А. Пупкова. - М.: Изд-во МВТУ им. Баумана, 2000.
11. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование - М.:Вильямс, 2008, - 1152 с.
12. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических



системах - М.: ЛКИ, 2008, - 384 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Демирчян К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей. - М.: Высшая школа, 1988.
2. Демирчян К.С., Чечурин В.Л.. Машинные расчеты электромагнитных полей. - М.: Высшая школа, 1986.
3. Нелинейные системы. Частотные и матричные неравенства/А.Х. Гелига, Г.А. Леонова, А.Л. Фрадкова - М.: Физматлит, 2010, - 608 с.
4. Massimiliano Di Ventra Electrical Transport in Nanoscale Systems - L.: Oxford university press, 2008.
5. Барыбин А.А. Электродинамика волноведущих структур. Теория возбуждения и связи волн - М.: Физматлит, 2007, - 512 с.
6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии - М.: Физматлит, 2009, - 286 с.

## **Программа специальной дисциплины по кафедре ВМСС**

### **1. Основы электродинамики**

Электростатика. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Работа электрических сил, потенциал электрического поля. Уравнение Пуассона и Лапласа. Энергия электрического поля. Пондермоторные силы. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики. Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Пондермоторные силы в магнитном поле. Магнитное поле в веществе. Намагниченность магнитов. Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Теорема Пойнтинга. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект. Распространение электромагнитного поля в волноводах. Электромагнитные колебания в полых резонаторах. Излучение заряженных частиц. Излучение релятивистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде.

### **2. Основы теории электрических цепей**

Линейные цепи. Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Цепи с зависимыми источниками. Цепи с взаимными индуктивностями. Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Цепи с распределенными параметрами. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме. Согласование длинных линий. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. Синтез линейных электрических цепей. Синтез пассивных двухполюсников. Свойства входных функций пассивных двухполюсников. Элементы синтеза четырехполюсника. Нелинейные цепи. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Феррорезонанс. Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме. Цепи с инерционными элементами, параметрические цепи.

### **3. Строение вещества**

Газы. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Термическая ионизация, уравнение Саха. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Проводимость низкотемпературной плазмы. Проводимость полностью ионизированного газа (формула Спитцера). Образование непрерывного спектра в плазме. Свободно-свободные и свободно-связанные переходы в нагретом ионизированном газе. Жидкости. Явление переноса в жидкостях. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Зонная модель. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Явление сверхпроводимости.

### **4. Вещество в сильном электромагнитном поле**

Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия. Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах. Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость. Эффект Холла. Термоэлектричество. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Месснера. Остаточное сопротивление.

#### **Основная литература:**

1. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 2 Теория поля. Т. 5 Электродинамика сплошных сред / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматгиз, 2001.
2. Кухаркин Е. С. Электрофизика информационных систем. –М.: Высшая школа -2001. -671 с.
3. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. / К. С. Демирчян, и др. . – СПб. : Питер, 2009
4. Нгуен-Куок Ши Основы математического моделирования низкотемпературной плазмы. – М. : Изд-во МЭИ, 2013 . – 446 с.
5. Фортов В. Е. Экстремальные состояния вещества – М. : Физматлит, 2009 . – 304 с.
6. Дьяков А. Ф., Максимов Б. К., Борисов Р. К. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике– М. : Изд. дом МЭИ, 2011 – 544 с.

#### **Дополнительная литература:**

7. Белоконь А.В., Скалиух А.С. Математическое моделирование необратимых процессов поляризации -М.: Физматлит, 2010, 328 с.

8. Фортон В. Е., Храпак А. Г., Якубов И. Т. Физика неидеальной плазмы - М.: Физматлит, 2010, 528 с.

9. Шакиров М. А. Теоретические основы электротехники. Тензоры в ТОЭ. Электродинамика. Теория относительности – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011 . – 315 с.

## **Программа специальной дисциплины по кафедре ПЭ**

### **1.Полупроводниковые приборы**

*Основные свойства чистых и примесных полупроводников.* Электропроводность чистых и примесных полупроводников. Токи в полупроводнике (дрейфовый и диффузионный). Подвижность носителей в полупроводнике, ее зависимость от температуры, концентрации примесей и напряженности электрического поля. Зависимость удельного сопротивления примесного полупроводника от температуры. Механизм рекомбинации и время жизни носителей. Закон убывания концентрации носителей за счет рекомбинации. Уравнение непрерывности.

*Электронно-дырочный переход*, явления, возникающие при контакте металла с полупроводником. Полупроводники с различным типом проводимости. Зонная диаграмма  $p-n$ -перехода. Вольт-амперная характеристика (ВАХ)  $p-n$ -перехода, виды его пробоя.

*Полупроводниковый диод*, особенности его ВАХ. Температурные свойства параметров и характеристик диода. Разновидности диодов (стабилитроны, диоды Шоттки, туннельные диоды). Основные приемы конструирования и технологии изготовления диодов.

*Биполярный транзистор.* Устройство и принцип действия биполярного транзистора, анализ процессов в базе транзистора – характер движения носителей, влияние электрического поля, распределение концентрации неосновных носителей. Соотношение между токами электродов транзистора. Характеристики транзистора при включении по схемам с общей базой и общим эмиттером. Уравнение Эберса–Молла для статических ВАХ идеализированного транзистора. Мало сигнальная эквивалентная схема транзистора, влияние температуры, частоты и нагрузки на параметры эквивалентной схемы. Ключевой режим биполярного транзистора. Режим отсечки и насыщения. Анализ переходных процессов в транзисторе методом заряда. Конструирование

биполярных транзисторов и элементы технологии их производства. Параметрические особенности биполярных транзисторов на большие мощности.

*Биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ).* Устройство и принцип действия. Схема замещения и ВАХ БТИЗ, электрические и температурные параметры схемы замещения, требования к управляющим сигналам. Особенности использования БТИЗ в технических устройствах и области их безопасной работы. Особенности IGBT и IGCT.

*Полевые транзисторы с управляющим  $p-n$ -переходом.* Устройство, принцип действия и ВАХ Транзисторы МДП-типа с встроенным и индуцированным каналом. Схемы замещения, параметры и характеристики полевых транзисторов.

*Оптоэлектронные пары* диод – диод, диод – транзистор. Оптоэлектронные приборы повышенной яркости – светодиоды. Схемы включения оптоэлектронных приборов.

*Тиристоры.* Структура и физические процессы в тиристорах. ВАХ тиристора. Переходные процессы включения и выключения в незапираемых (однооперационных) тиристорах. Предельные и классификационные параметры тиристоры. Асимметрично запирающие и обратнoпроводящие тиристоры. Симисторы, фото- и оптронные тиристоры. Запираемые (двух операционные) тиристоры

*Интегральные и гибридные микросхемы.* Схемотехника и конструкция, типовые логические микросхемы. Серия микросхем на биполярных и полевых транзисторах.

*Электромагнитные элементы* силовой электроники. Трансформаторы, дроссели, реакторы. Конструктивные особенности и принципы использования высокочастотных ферритовых электромагнитных элементов. Электрорадиоизделия силовой электроники – конденсаторы, резисторы, светодиодные индикаторы.

Коммутационно-защитная аппаратура силовой электроники – быстродействующие предохранители, бесконтактные реле и коммутаторы, разъемы, провода и кабели.

## **2. Анализ электрических цепей с полупроводниковыми элементами**

*Электрические цепи и сигналы.* Элементы электрических цепей (источники, потребители и накопители энергии), их параметры и характеристики. Электрическая схема и структурный граф цепи. Матрицы сечений и контуров,

связь между ними. Коммутационные процессы в электрических цепях. Постоянные и гармонические токи и напряжения. Комплексная форма представления гармонического процесса в электрической цепи. Периодически изменяющиеся токи и напряжения, разложение сигнала на гармонические составляющие. Параметры и характеристики периодического тока. Модулированные сигналы и их дискретные частотные спектры. Непериодические токи и напряжения. Интеграл Фурье и непрерывные спектры электрических сигналов. Преобразование Лапласа и операторные изображения сигналов.

*Установившиеся и переходные процессы в линейных цепях.* Анализ установившихся режимов в резистивных цепях, исходные уравнения, способы их решения и проверки. Законы Кирхгофа, баланс мощностей. Гармонические и периодические режимы в линейных цепях с источниками, потребителями и накопителями энергии. Расчетные схемы с комплексными параметрами элементов. Активная, реактивная и полная мощность электрической цепи, мощность искажения. Законы коммутации и начальные условия, исходные алгебраические и дифференциальные уравнения состояния цепи. Классические методы решения дифференциальных уравнений (принужденный и свободный процессы в электрической цепи). Операторный метод анализа процессов в электрической цепи. Интегро-дифференциальные уравнения состояния цепи и ее эквивалентная операторная схема. Реакция электрической цепи на возмущение в виде ступенчатой, импульсной и произвольной функции времени. Пространство состояний электрической цепи, формирование систем алгебраических и дифференциальных уравнений состояний, методы аналитических и численных решений уравнений. Математическое моделирование электрических цепей.

*Фильтрующие устройства в электрических цепях.* Четырехполюсники, их схемы, уравнения преобразования энергии. Эквивалентная схема активного четырехполюсника. Характеристические параметры и условия согласования пассивного четырехполюсника с источником энергии и нагрузкой. Последовательный и параллельный  $LC$ -контуры, их резонансные и частотные характеристики.  $LC$ -фильтры, их характеристические параметры в полосах пропускания и демпфирования сигналов. Пассивные и активные  $RC$ -фильтры, их передаточные функции и частотные характеристики.

*Установившиеся и переходные процессы в нелинейных цепях.* Нелинейные цепи – ограничение и стабилизация тока и напряжения, выпрямление переменного тока, амплитудная модуляция гармонического сигнала. Цепи с управляемыми элементами – электронный усилитель, управляемый выпрямитель. Аналитические, графические и численные методы анализа переходных процессов в цепях с нелинейными элементами. Устойчивость режима постоянного тока в нелинейной цепи. Релаксационный генератор – электрическая схема генератора, условия существования устойчивого режима его работы. Условия возникновения

гармонических колебаний в нелинейной цепи. Гармонический генератор – электрическая схема генератора, уравнения состояния и фазовый портрет.

### 3. Электронные цепи

*Линейные усилители.* Однокаскадные усилители на биполярных и полевых транзисторах. Обратные связи в усилителях, их влияние на параметры и характеристики усилителей. Устойчивость усилителя с обратной связью. Частотные и импульсные характеристики усилителей. Методы температурной стабилизации рабочего режима транзисторных усилителей. Операционные усилители. Использование операционных усилителей в схемах масштабирования, суммирования, интегрирования и дифференцирования электрических сигналов. Активные фильтры на основе операционных усилителей и  $RC$ -цепей. Генераторы гармонических колебаний с колебаний с  $RC$ - и  $LC$ -цепями.

*Диодные ключи, ограничители и фиксаторы уровня напряжения.*

*Транзисторные насыщенные ключи на биполярных транзисторах.* Ненасыщенные ключи. Траектория рабочей точки при переключении транзистора. Влияние на траекторию рабочей точки характера нагрузки ( $R$ ,  $RL$ ,  $L$ ,  $RC$ ). Области безопасной работы. Ключи на полевых транзисторах. Схемотехника ключей на большие мощности. Энергия, рассеиваемая в транзисторах при переключении, основные приемы отвода тепла.

*Импульсные схемы и стабилизаторы напряжения.* Компараторы, мультивибраторы, мультивибраторы и генераторы линейно изменяющегося напряжения на основе дискретных компонентов, операционных усилителей и логических интегральных схем. Параметрические стабилизаторы напряжения. Линейные (в том числе интегральные) стабилизаторы. Регуляторы и стабилизаторы напряжения и тока на полупроводниковых элементах, работающих в ключевых режимах.

### 4. Преобразовательная техника

*Основные схемы одно- и трехфазных выпрямителей.* Работа однофазных выпрямителей на активно-индуктивную, активно-емкостную нагрузки, на нагрузку, содержащую противо-ЭДС и индуктивность. Режим прерывистого тока. Трехфазный мостовой выпрямитель. Внешняя характеристика выпрямителя при различном числе одновременно работающих вентилях. Несимметричный (полууправляемый) выпрямитель, его регулировочная характеристика. Многофазные схемы выпрямления на основе последовательного или параллельного соединения выпрямителей. Взаимодействие выпрямителя с источником переменного тока. Первичные токи многофазных выпрямителей. Коэффициент мощности источника переменного тока при управляемом и неуправляемом режимах работы выпрямителя. Способы повышения

коэффициента мощности. Явление вынужденного подмагничивания трансформатора в одно- и трехфазных трансформаторных выпрямителях, способы устранения эффекта подмагничивания. Влияние анодных индуктивностей на работу выпрямителей.

*Инверторы, ведомые сетью, и преобразователи частоты.* Переход от выпрямительного режима к инверторному. Электрические процессы в инверторе, ведомом сетью, его регулировочная характеристика. Влияние анодных индуктивностей на работу инвертора, коэффициент его мощности, приемы повышения коэффициента мощности инвертора. Реверсивный преобразователь переменного-постоянного тока. Перекрестная и встречно-параллельная схемы преобразователя. Совместное и раздельное управление преобразователем. Особенности работы преобразователя на индуктивную нагрузку и индуктивную нагрузку с противо-ЭДС. Непосредственный преобразователь частоты. Одно- и многофазная схемы непосредственного преобразователя частоты, особенности его работы на активно-индуктивную нагрузку.

*Импульсные преобразователи и регуляторы постоянного напряжения.* Импульсные методы регулирования напряжения (тока) – широтно- и частотно-импульсное регулирование, метод позиционного слежения. Импульсные регуляторы I, II и III родов, их регулировочные характеристики. Транзисторные преобразователи напряжения с передачей энергии через трансформатор на интервале формирования импульса и во время паузы. Импульсные преобразователи постоянного напряжения на тиристорах с параллельной и последовательной двухступенчатой коммутацией.

*Автономные инверторы и преобразователи на их основе.* Автономные инверторы тока и напряжения, их сравнительная оценка. Автономный параллельный инвертор как пример инвертора тока, его внешняя характеристика. Стабилизация и регулирование выходного напряжения инвертора тока с помощью индуктивно-тиристорного компенсирующего устройства. Инвертор тока с отсекающими диодами. Одно- и трехфазные инверторы напряжения, особенности их работы на индуктивную нагрузку, роль отсекающих диодов. Инвертор напряжения с одноступенчатой (прямой) коммутацией (схема Мак-Муррея–Бедфорда). Инвертор напряжения с двухступенчатой (непрямой) коммутацией. Электрические процессы в коммутационных узлах при последовательной и параллельной коммутации. Преобразователи частоты на основе инверторов напряжения и инверторов тока для частотно-управляемого электропривода. Параллельный и последовательный резонансные инверторы, токи и напряжения в инверторах при граничном режиме работы и в режиме с паузой. Резонансные инверторы с обратными диодами. Особенности работы тиристоров при принудительной коммутации – отпирание, запираение, коммутационные потери



мощности, эффекты, связанные с изменением производных тока и напряжения в период коммутации. Преобразователи напряжения с звеном повышенной частоты.

Методы снижения коммутационных потерь в инверторах повышенной частоты – демпфирующие цепи, резонансная и квазирезонансная коммутация.

Методы улучшения спектрального состава выходного напряжения инверторов. Многофазные преобразователи со ступенчатой формой напряжения.

## **5. Системы управления преобразователями**

*Обработка информации.* Количественная оценка информации. Виды сигналов. Характеристика аналоговых сигналов – спектры и функции распределения. Передача информации модулированными сигналами с гармоническим и импульсным носителями. Кодирование цифровых сигналов, виды цифровых кодов. Понятие о системах счисления, обратном и дополнительном кодах. Кодовые расстояния, избыточное кодирование, коды с обнаружением и исправлением ошибок. Способы цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразований. Преобразователи, основанные на последовательном счете, поразрядном уравнивании и считывании. Преобразователи временных интервалов: аналоговый сигнал – интервал, аналоговый сигнал – частота, интервал–код, частота–код.

*Основы проектирования цифровых узлов и устройств.* Коммутационные логические устройства. Логические функции, способы их описания, их реализации с использованием типовых логических элементов И, ИЛИ, И–НЕ, ИЛИ–НЕ. Дешифраторы, мультиплексоры, арифметические логические устройства – принцип их действия и особенности использования. Основные виды триггеров, построение счетчиков и регистров. Реверсивные счетчики. Емкость счетчика и управление ею. Регистры с последовательным и параллельным вводом и выводом информации. Автоматы на основе интегральных микросхем. Способы описания состояния автоматов, таблицы переходов и выходов. Кодирование входов, выходов и внутренних состояний автоматов. Противогоночное кодирование. Синтез узлов на основе типовых логических элементов. Виды полупроводниковых запоминающих устройств. Способы расширения адресного пространства и разрядности данных запоминающего устройства. Программирование ПЗУ, ОЗУ, РПЗУ. Полупроводниковое запоминающее устройство как многофункциональный логический элемент. Построение автоматов на основе программируемых ПЗУ с обратными связями.

*Микропроцессорная техника систем управления.* Программная реализация процедур сбора, вычислительных операций над информацией и управления. Структура микропроцессорной системы, ее составные части. Магистральный способ связи узлов. Магистраль данных, адреса управления. Функционирование

микропроцессора при выполнении команд. Машинные циклы, слова состояния процессора. Виды команд. Переходы – выполнение подпрограмм, стек, прерывания и обработка прерываний, прямой доступ к памяти. Однокристальные и разрядно-модульные микропроцессоры, однокристальные микроЭВМ, периферийные устройства микропроцессорных систем (интерфейсы).

### **Основная литература:**

1. Зиновьев Г.С. Основы 3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Учебник для ВУЗов. – М.: Альянс, 2008. – 496 с. (ISBN 978-5-903034-34-5)
2. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 382 с.
3. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин . – М. : Техносфера, 2006 . – 632 с. – (Мир электроники). ( ISBN 5-948360-51-2)
4. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. – М. из-во Техносфера, 2011, 576 с. (ISBN 978-5-94836-260-1)
5. Справочник по силовой электронике / Розанов Ю.К., Воронин П.А., Рывкин С.Е., Чаплыгин Е.Е. – М. Издательский дом МЭИ, 2014. – 472 с. ( ISBN 978-5-383-00872-0).
6. Силовая электроника : учебное пособие для бакалавров, по специальности "Промышленная электроника" / Г. С. Зиновьев, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ) . – 5-е изд., испр. и доп . – М. : Юрайт, 2015 . – 667 с. . (ISBN 978-5-9916-1972-1)
7. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов по направлениям "Электроэнергетика", "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / А. П. Бурман, Ю. К. Розанов, Ю. Г. Шакарян . – М. : Изд-во МЭИ, 2012 . – 336 с. (ISBN 978-5-383-00738-9) .

### **Дополнительная литература:**

8. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией : учебное пособие по курсу "Моделирование электронных

устройств и систем" по специальности "Промышленная электроника" / Е. Е. Чаплыгин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд. дом МЭИ, 2012 . – 48 с. ( ISBN 978-5-383-00799-0 ).

9. Системы управления электроприводов : учебник по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / А. С. Анучин . – М. : Изд. дом МЭИ, 2015 . – 373 с. (ISBN 978-5-383-00918-5).
10. Теория автоматического управления: учебник для вузов по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / С. И. Малафеев, А. А. Малафеева . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Академия, 2014 . – 384 с. (ISBN 978-5-4468-0230-2).
11. Встраиваемые высокопроизводительные цифровые системы управления. Практический курс разработки и отладки программного обеспечения сигнальных микроконтроллеров TMS320x28xxx в интегрированной среде Code Composer Studio: учебное пособие / А.С. Анучин, Д.И. Алямкин, А.В. Дроздов и др.; под общ. Ред. В.Ф. Козаченко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 270 с. ( ISBN 978-5-383-00471-5)
12. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов по направлению 210300 "Радиотехника" / А. Б. Сергиенко . – 3-е изд . – СПб. : БХВ-Петербург, 2013 . – 768 с. (ISBN 978-5-9775-0915-2).

«Согласовано»  
Директор ИЭТЭ  
к.т.н., доцент

Погребисский М.Я.

Директор ИЭЭ  
к.т.н., доцент

Тульский В.Н.

Директор ИВТИ  
к.т.н., доцент

Вишняков С.В.

Директор ИРЭ  
к.т.н., доцент

Куликов Р.С.