

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет имени И.Н. Ульянова»



 Е.Н. Кадышев

15 апреля 2022 г.

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

по научной специальности

2.4.1. Теоретическая и прикладная электротехника

Программу составили:

кандидат технических наук, доцент

Г.В. Малинин

Программа рассмотрена и одобрена:

на заседании кафедры промышленной электроники 25 марта 2022 г., протокол № 7

заведующий кафедрой

Г.А. Белов

Согласовано:

Начальник отдела подготовки и
повышения квалификации

научно-педагогических кадров

С.Б. Харитонова

1. Содержание кандидатского экзамена.

№ п/п	Наименование раздела	Содержание
Раздел 1. Электромагнитные поля и процессы в электротехнических, электроэнергетических и информационных системах		
1.	Тема 1. Теоретические и экспериментальные исследования электромагнитных полей и процессов в электротехнических, электроэнергетических, информационных, управляющих и биологических системах	Известный спектр электромагнитного излучения (ЭМИ). Актуальность исследования электромагнитных полей. Электромагнитные помехи (ЭМП), основные их виды. Регламенты и стандарты на ЭМИ и ЭМП.
2.	Тема 2. Анализ, синтез, оптимизация и диагностика электромагнитных полей и электрических цепей	Основные методы обеспечения электромагнитной совместимости. Анализ и диагностика источников ЭМП в проектируемой радиоэлектронной и силовой электронной аппаратуре. Оптимизация и подавление ЭМП путем применения помехоподавляющих электрических цепей. Основные подходы при оценке уменьшения ЭМП в устройствах с короткими линиями связи при выраженных емкостной и индуктивной составляющих.
3.	Тема 3. Математическое моделирование неэлектрических явлений и процессов с использованием электромагнитных аналогов	MATLAB как наиболее универсальный математический пакет для моделирования различных процессов в науке и технике. Примеры моделирования неэлектрических явлений и процессов с использованием электромагнитных аналогов.
4.	Тема 4. Теоретические и прикладные исследования электродинамических систем, интегрирующих объекты информационной и электротехнической природы	Моделирование объектов в виде электродинамического анализа. Примеры методов анализа в виде электродинамических процессов в гибридных электромагнитных элементах.
Раздел 2. Электротехнические и радиотехнические материалы и технологии		
5.	Тема 5. Изучение на стадиях от разработки до утилизации физико-химических процессов, определяющих свойства электротехнических и радиотехнических материалов и изделий в связи с их химическим составом, структурой и внешними условиями эксплуатации	Основные радио- и электротехнические материалы. Учет внешних климатических, механических и радиационных факторов.
6.	Тема 6. Оптимизация параметров электротехнических, радиотехнических материалов и изделий, технологии их производства, эксплуатации и утилизации	Основные технологии производства радио- и электротехнических материалов. Особенности получения наноматериалов, их разновидности применительно к радио- и электротехническим материалам. Организация утилизации радио- и электротехнических материалов.
7.	Тема 7. Проектирование, исследование, производство, эксплуатация и утилизация электротехнических и радиотехнических материалов, изделий на их основе	Промышленные выбросы в атмосферу, связанные с производством, эксплуатацией и утилизацией электротехнических и радиотехнических материалов и изделий на их основе. Улучшение свойств и параметров электротехнических и радиотехнических материалов и изделий на их основе. Механически «умные» материалы.
8.	Тема 8. Повышение долговечности и надежности электро-	Учет тепловых и электрических режимов устройств силовой электроники и электроэнергетических пре-

	технических и радиотехнических материалов и изделий на их основе	образователей. Параметры надежности устройств силовой электроники и электроэнергетических преобразователей. Системы охлаждения устройств силовой электроники и электроэнергетических преобразователей.
Раздел 3. Силовая электроника		
9.	Тема 9. Силовые полупроводниковые приборы	Особенности конструкции силовых тиристоров. Особенности конструкции силовых биполярных транзисторов. Особенности конструкции транзисторов с изолированным затвором. Предельные режимы работы силовых полупроводниковых приборов. Области безопасных режимов работы. Тепловые характеристики полупроводниковых приборов.
10.	Тема 10. Системы управления и защиты полупроводниковых приборов	Структура и требования к быстродействующим драйверам. Драйверы управления силовыми транзисторами. Защитные цепи силовых ключей. Силовые ключи с интегрированной системой защиты.
11.	Тема 11. Устройства силовой электроники	Высоковольтные электрические сети. Принципы уменьшения потерь проводимости на высоком напряжении. Высоковольтная силовая электроника. Тиристорный и транзисторный силовые ключи. Особенности параллельного и последовательного включения силовых ключей. Частотный и плавный пуск высоковольтных электрических машин устройствами высоковольтной преобразовательной техники. Устройства плавного и ступенчатого регулирования реактивной мощности в высоковольтных электрических сетях. Влияние величины пускового тока на время пуска электрической машины. Потери в двигатели при плавном пуске по сравнению с прямым пуском электрической машины. 1. Принцип последовательно включения источников переменного напряжения для увеличения значения выходного напряжения. Уменьшение величины коммутируемого напряжения и класса по напряжению силовых приборов устройств преобразовательной техники. Многоуровневый преобразователь напряжения с многообмоточным входным трансформатором. Последовательное включение силовых блоков с однофазным мостовым инвертором (H-мост). Сетевой ток многообмоточного трансформатора. Основные подходы к формированию многоуровневой ШИМ. Соотношение частоты коммутации силовых ключей к частоте модуляции выходного напряжения. Шунтирование аварийных силовых блоков. Формирование напряжения задания при модуляции напряжения с зашунтированными силовыми блоками. Частотный пуск асинхронного двигателя при скалярном законе регулирования (закон Костенко).
12.	Тема 12. Системы управления устройствами силовой электроники	Способы импульсно-фазового управления выпрямителями и инверторами. Система импульсно-фазового управления (СИФУ) однофазным управляемым выпрямителем. Особенности СИФУ для трехфазных выпрямителей. Устранение асимметрии в многоканальных аналоговых СИФУ. Особенности асинхронного СИФУ. Одноконтурные, двухконтурные и упрощенные двухконтурные системы управления импульсным преобразователем постоянного напряже-

		<p>ния (ИППН). Структурные динамические модели ИППН. Методика их построения. Методы анализа структурных динамических моделей ИППН. Структурные динамические модели понижающего, повышающего и инвертирующего ИППН. Структурная динамическая модель управляемого выпрямителя в режиме прерывистого тока нагрузки. Структурная динамическая модель управляемого выпрямителя в режиме непрерывного тока нагрузки. Корректор коэффициента мощности (ККМ) с двухконтурной системой управления. ККМ с одноконтурной системой управления. Понятие вращающегося вектора напряжения. Вычисление фазных напряжений по проекциям вращающегося мгновенного вектора напряжения. Вычисление мгновенного вектора напряжения по мгновенным значениям фазных напряжений в трёхфазной сети. Базовые вектора напряжений трёхфазного мостового инвертора. Принцип формирования заданного вектора напряжения с помощью вычисления времени включения базовых векторов за период модуляции. Последовательность включения базовых векторов напряжения внутри периода модуляции. Фазное и линейное напряжения инвертора при векторном способе ШИМ. Трёхфазный мостовой преобразователь напряжения с векторным способом ШИМ. Сравнение частоты коммутации силовых ключей и максимальной амплитуды выходного напряжения инвертора при векторной и независимой пофазной ШИМ.</p>
--	--	--

2. Перечень вопросов к кандидатскому экзамену.

1. Особенности конструкций силовых биполярных транзисторов. Основные параметры и характеристики силовых биполярных транзисторов. Предельные режимы работы силовых биполярных транзисторов.
2. Разновидности конструкций силовых полевых транзисторов. Основные параметры и характеристики силовых полевых транзисторов.
3. Типовые структуры биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT). Основные параметры и характеристики IGBT-транзисторов.
4. Структура и процессы запираания однооперационного тиристора. Система справочных параметров и характеристики тиристора.
5. Структура и процессы запираания двухоперационного тиристора. Система справочных параметров и характеристики тиристора.
6. Выбор силового полупроводникового ключа. Группы параметров силового полупроводникового ключа.
7. Прямо смещенные и обратно смещенные области безопасных режимов силовых полупроводниковых ключей.
8. Формирователи импульсов управления с совместной передачей энергии и формы управляющего сигнала.
9. Трансформаторные формирователи импульсов для ключей с изолированным затвором.
10. Потенциальная развязка информационного сигнала формирователей импульсов управления с раздельной передачей энергии и информационного сигнала.
11. Драйверы для силовых МДП и IGBT-транзисторов. Влияние паразитных емкостей на переключение силовых МДП-транзисторов.
12. Драйверы управления полумостовыми схемами на силовых МДП и IGBT- транзисторах.
13. Основные виды перегрузок по напряжению и току в схемах с силовыми полупроводниковыми ключами.

14. Цепи формирования траектории рабочей точки силового транзистора при коммутации активно-индуктивной нагрузки.
15. Силовые ключи с интегрированной системой защиты.
16. Трехфазный мостовой выпрямитель. Работа выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку, на нагрузку. Режим прерывистого тока.
17. Трехфазный мостовой выпрямитель. Работа выпрямителя на нагрузку, содержащую противо-ЭДС и индуктивность. Режим прерывистого тока.
18. Многофазные схемы выпрямления на основе последовательного или параллельного соединения выпрямителей.
19. 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.
20. Инверторы, ведомые сетью. Переход от выпрямительного режима к инверторному. Электрические процессы в инверторе, ведомом сетью, его регулировочная и входные характеристики.
21. Непосредственный преобразователь частоты. Одно- и многофазная схемы непосредственного преобразователя частоты, особенности его работы на активно-индуктивную нагрузку.
22. Трехфазный автономный параллельный инвертор тока. его внешняя характеристика. Стабилизация и регулирование выходного напряжения инвертора тока с помощью индуктивно-тиристорного компенсирующего устройства.
23. Одно- и трехфазные инверторы напряжения, особенности их работы на индуктивную нагрузку. Инвертор напряжения с одноступенчатой (прямой) коммутацией (схема Мак-Муррея-Бедфорда). Инвертор напряжения с двухступенчатой (не прямой) коммутацией.
24. Преобразователи частоты на основе инверторов напряжения и инверторов тока для частотно-управляемого электропривода.
25. Частотный и плавный пуск высоковольтных электрических машин устройствами высоковольтной преобразовательной техники.
26. Устройства плавного и ступенчатого регулирования реактивной мощности в высоковольтных электрических сетях.
27. Тиристорное устройство плавного пуска высоковольтной электрической машины. Влияние величины пускового тока на время пуска электрической машины. Потери в двигателе при плавном пуске по сравнению с прямым пуском электрической машины.
28. Принцип последовательно включения источников переменного напряжения для увеличения значения выходного напряжения. Уменьшение величины коммутируемого напряжения и класса по напряжению силовых приборов устройств преобразовательной техники.
29. Многоуровневый преобразователь напряжения с многообмоточным входным трансформатором. Последовательное включение силовых блоков с однофазным мостовым инвертором (H-мост). Сетевой ток многообмоточного трансформатора.
30. Основные подходы к формированию многоуровневой ШИМ. Соотношение частоты коммутации силовых ключей к частоте модуляции выходного напряжения.
31. Шунтирование аварийных силовых блоков. Формирование напряжения задания при модуляции напряжения с зашунтированными силовыми блоками.
32. Применение многоуровневого преобразователя напряжения при регулировании параметров выходной мощности. Частотный пуск асинхронного двигателя при скалярном законе регулирования (закон Костенко).
33. Классификация систем управления выпрямителями. Вертикальное и горизонтальное управление. Синхронные и асинхронные СИФУ.
34. СИФУ для однофазных управляемых выпрямителей: принципиальная схема, временные диаграммы работы, назначение узлов.
35. Структура системы с асинхронной СИФУ, принцип действия. ГПН с автоподстройкой.
36. Структурная динамическая модель управляемого выпрямителя в режиме прерывистого тока нагрузки.
37. Системы управления импульсными преобразователями. Одноконтурные и двухконтурные системы, основные узлы систем управления (задающий генератор, ШИМ, усилитель ошибки, выходной драйвер, цепь плавного запуска, цепи защиты).
38. Уравнения силовой части понижающего преобразователя во временной области, матричные и операторные уравнения. Режимы непрерывного и прерывистого тока. Обоснование нелинейной

импульсной структурной модели силовой части понижающего преобразователя. Работа модели в режиме непрерывного и прерывистого тока дросселя.

39. Уравнение силовой части повышающего преобразователя во временной области, матричные и операторные уравнения. Обоснование нелинейной импульсной структурной модели.

40. Линеаризованная усредненная динамическая модель понижающего импульсного преобразователя.

41. Линеаризованная усредненная динамическая модель повышающего импульсного преобразователя.

42. Импульсные преобразователи с упрощенным токовым контуром управления. Структура, принцип действия, преимущества, временные диаграммы. Микросхема UC3842 для импульсных преобразователей с упрощенным токовым контуром управления.

43. Линеаризация ШИМ в упрощенном токовом контуре. Импульсная динамическая модель токового контура управления. Передаточная функция токового контура.

44. Назначение, структура и принцип действия корректора коэффициента мощности (ККМ) с двухконтурной системой управления с микросхемой UC3854.

45. Принцип действия ККМ с одноконтурной системой управления с микросхемой UC3852.

46. Понятие вращающегося вектора напряжения. Вычисление фазных напряжений по проекциям вращающегося мгновенного вектора напряжения. Вычисление мгновенного вектора напряжения по мгновенным значениям фазных напряжений в трёхфазной сети.

47. Базовые вектора напряжений трёхфазного мостового инвертора. Принцип формирования заданного вектора напряжения с помощью вычисления времени включения базовых векторов за период модуляции. Последовательность включения базовых векторов напряжения внутри периода модуляции.

48. Трёхфазный мостовой преобразователь напряжения с векторным способом ШИМ.

49. Сравнение частоты коммутации силовых ключей и максимальной амплитуды выходного напряжения инвертора при векторной и независимой пофазной ШИМ.

50. Обеспечение ЭМС электронного изделия (устройства). Основные стандарты по ЭМС, принятые в РФ для устройств силовой электроники и электропреобразовательной техники. Меры для обеспечения ЭМС разрабатываемых устройств.

51. Проведение климатических и вибрационно-механических испытаний устройств силовой электроники. Методы климатических и вибрационно-механических испытаний.

52. Суть оптимизации параметров электротехнических, радиотехнических материалов до этапа их начала производства. Последующая реализация оптимизированных параметров в технологиях получения заданных свойств электротехнических, радиотехнических материалов.

53. Электрические и тепловые режимы устройств силовой электроники и электропреобразовательной техники. Учет этих режимов при разработке охлаждающих систем.

54. Комплексные показатели надежности устройств силовой электроники и электропреобразовательной техники. Учет и ориентировочный расчет параметров надежности при проектировании и разработке устройств силовой электроники и электропреобразовательной техники. Зависимость параметров надежности устройств силовой электроники и электропреобразовательной техники от внешних факторов.

3. Рекомендуемая литература

Рекомендуемая основная литература

№	Название
1.	Мелешин, В. И. Транзисторная преобразовательная техника / В. И. Мелешин. — Москва: Техносфера, 2005. — 623 с. — ISBN 5-94836-051-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/31873.html
2.	Белов Г. А. Теория импульсных преобразователей: [монография] / Белов Г. А. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. - 330с.
3.	Никифоров И.К. Радиоэлектронная и силовая электронная аппаратура. Основы электроники. Электро- и радиотехнические материалы и изделия: учеб. пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – 300 с.

Рекомендуемая дополнительная литература

№	Название
1.	Родыгин, А. В. Устройства силовой электроники : учебное пособие / А. В. Родыгин. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. — 76 с. — ISBN 978-5-7782-4129-9. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/99231.html
2.	Белоус, А. И. Полупроводниковая силовая электроника / А. И. Белоус, С. А. Ефименко, А. С. Турцевич. — Москва : Техносфера, 2013. — 228 с. — ISBN 978-5-94836-367-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/31876.html
3.	Розанов, Ю. К. Силовая электроника : учебник и практикум для вузов / Ю. К. Розанов, М. Г. Лепанов ; под редакцией Ю. К. Розанова. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 206 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-9440-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/489539
4.	Никифоров И.К. Радиоэлектронная и силовая электронная аппаратура. Микро- и нанотехнологии. Материалы и технологии: учеб. пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. – 354 с.
5.	Никифоров И.К. Радиоэлектронная и силовая электронная аппаратура. Электромагнитные компоненты и элементы. Электромагнитная совместимость. Основы магнитоэлектроники: учеб. пособие. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – 444 с.
6.	Яковлев В.Н. и др. Электромагнитная совместимость электрооборудования электроэнергетики и транспорта [Электронный ресурс]: Допущено УМО вузов России по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии". - Москва: Издательский дом МЭИ, 2010. - – Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383003985.html
7.	Зиновьев Г.С. и др. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники. Часть 4 [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012. – 64 с. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45197.html
8.	Зиновьев Г.С., Удовиченко А.В. Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники. Часть 5 [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. - Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 56 с. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45198.html
9.	Фролов В.Я., Смородинов В.В. Устройства силовой электроники и преобразовательной техники с разомкнутыми и замкнутыми системами управления в среде Matlab — Simulink [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 332 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/106890
10.	Коткин, Попов, Черкасский Компьютерное моделирование физических процессов с использованием Matlab [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов. - Москва: Юрайт, 2020. - 202 с – Режим доступа: https://urait.ru/bcode/455883
11.	Иванов А. Г. Системы управления полупроводниковыми преобразователями: Изд-во Чуваш. ун-та / Иванов А. Г., Белов Г. А., Сергеев А. Г., Чуваш. гос. ун-т им. И. Н. Ульянова - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. - 447с.
12.	Белов Г. А. Динамика импульсных преобразователей: Изд-во Чуваш. ун-та / Белов Г. А., отв. ред. Афанасьев А. А. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2001. - 528с.
13.	Иванов А. Г. Силовая электроника в электроприводе: Изд-во Чуваш. ун-та / Иванов А. Г., Сергеев А. Г. - Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. - 380с.

Перечень рекомендуемых ресурсов сети «Интернет»

№	Название
1.	Научная библиотека ЧувГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://library.chuvsu.ru

2.	Электронно-библиотечная система IPRBooks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru
3.	Образовательная платформа «Юрайт»: для вузов и ссузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.urait.ru
4.	Электронная библиотечная система «Издательство «Лань» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/
5.	Единое окно к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://window.edu.ru
6.	Российская государственная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rsl.ru
7.	Российская национальная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nlr.ru
8.	Научная электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rsl.ru
9.	Научная электронная библиотека «Elibrary» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.elibrary.ru
10.	Библиографическая и реферативная база данных «Scopus» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.scopus.com
11.	Поисковая платформа «Web of Science» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://webofknowledge.com/