

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе

д.т.н. проф.

Драгунов В.К.

« 27 » мая 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины 2.2.4. Приборы и методы измерения
(по видам измерений)

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности 2.2.4 «Приборы и методы измерения (по видам измерений)» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021 г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является освоение современных принципов построения средств измерения (СИ) электрических и магнитных величин и формирование углубленных теоретических знаний в области расчета и проектирования СИ.

Задачами дисциплины приборы и методы измерения (электрические и магнитные измерения) являются:

- сформировать общее представление о многообразии методов и подходов, используемых при решении задач, связанных с исследованиями, расчетом и проектированием средств измерения электрических и магнитных величин в целом и отдельных компонентов их программно-технических средств;
- научить на практике применять базовые методы расчета и проектирования средств измерения электрических и магнитных величин;
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при проведении научных исследований.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Области исследований

1. Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий измерения
2. Разработка методологий прогнозирования работоспособности и остаточного ресурса средств изделий, оптимизацию методов, приборов, систем контроля и диагностирования.

3. Разработка, внедрение, испытания методов измерения и измерительных приборов, способствующих повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды.

4. Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для измерительных систем, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды.

5. Разработка метрологического обеспечения методов и метрологических характеристик измерительных приборов и преобразователей.

6. Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в измерительных приборах с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии.

7. Автоматизация измерительных технологий, измерительных приборов, способствующая снижению трудоёмкости, увеличению оперативности и достоверности результатов измерения.

8. Научное обоснование методов повышения надёжности измерительных приборов, средств контроля и диагностирования в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации на основе интеллектуального анализа данных.

Отрасль науки

– технические науки.

Введение

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Области исследований

1. Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий измерения

2. Разработка методологий прогнозирования работоспособности и остаточного ресурса средств изделий, оптимизацию методов, приборов, систем контроля и диагностирования.

3. Разработка, внедрение, испытания методов измерения и

измерительных приборов, способствующих повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды.

4. Разработка методического, математического, программного, технического, приборного обеспечения для измерительных систем, способствующих увеличению эксплуатационного ресурса изделий и повышению экологической безопасности окружающей среды.

5. Разработка метрологического обеспечения методов и метрологических характеристик измерительных приборов и преобразователей.

6. Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в измерительных приборах с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии.

7. Автоматизация измерительных технологий, измерительных приборов, способствующая снижению трудоёмкости, увеличению оперативности и достоверности результатов измерения.

8. Научное обоснование методов повышения надёжности измерительных приборов, средств контроля и диагностирования в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации на основе интеллектуального анализа данных.

Отрасль науки

– технические науки.

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: электротехника и электроника, метрология, физические основы получения информации, цифровая обработка сигналов, численные методы моделирования статических и динамических режимов функционирования измерительных преобразователей.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Основы метрологии

Предмет и задачи метрологии. Важнейшие термины и определения. Физические величины. Единицы физических величин. Системы единиц физических величин. Принципы создания естественной системы единиц. Размерность величин и единиц. Практические приложения теории размерностей. Международная система единиц (СИ).

Средства измерений. Виды средств измерений. Меры и наборы мер. Измерительные аналоговые и цифровые преобразователи. Измерительные установки и принадлежности. Параметры и свойства средств измерений. Исходные (эталонные) средства измерений. Рабочие средства измерений. Отсчетные устройства: шкальные, цифровые, регистрирующие. Нормирование метрологических характеристик и классы точности. Способы выражения пределов допускаемой погрешности.

Эталоны. Общие понятия. Государственные эталоны — первичные и специальные. Вторичные эталоны (эталон-копии, сравнения и рабочие). Одиночный и групповой эталоны. Эталонный набор. Хранение эталонов. Перспективы развития эталонов.

Методы и принципы измерений. Виды методов измерений. Преобразование измеряемой величины в процессе измерений. Метод непосредственной оценки. Дифференциальный метод. Нулевой метод. Метод совпадений. Принципы измерений.

Общие требования к измерениям. Анализ постановки измерительной задачи. Выбор средств и методов измерений. Выбор числа измерений. Методика выполнения измерений. Способы обнаружения и исключения систематических погрешностей. Методы замещения, компенсации погрешности по знаку, противопоставления, симметричных наблюдений.

Прямые и косвенные измерения. Совокупные и совместные измерения. Однократные и многократные измерения. Равноточные и неравноточные измерения.

Погрешности измерений, Погрешность и достоверность результата измерения. Виды погрешности измерений. Точность, правильность, сходимости результатов измерений. Округление результатов измерений. Погрешности измерительных устройств в статическом и динамическом режимах. Расчет доверительных границ поля допусков погрешности измерительных устройств. Суммирование погрешностей измерительного канала для зависимых и независимых составляющих. Расчет динамических погрешностей линейных и нелинейных измерительных устройств. Концепция неопределенности результатов измерений.

Обработка результатов измерений. Требования к методам обработки результатов измерений. Группирование экспериментальных данных. Проверка гипотезы о виде распределения экспериментальных данных. Исключение грубых погрешностей. Обработка нормального распределения данных и отличного от нормального. Обработка результатов прямых однократных измерений. Обработка результатов косвенных, совместных, совокупных измерений. Проверка однородности и равноточности групп измерений при нормальном и отличном от нормального распределениях. Обработка результатов нескольких однородных равноточных и неравноточных групп измерений.

Обеспечение единства измерений. Система воспроизведения единиц и передачи их размеров рабочим средствам измерения. Эталоны. Поверочные

установки. Стандартные образцы. Поверочные схемы и их обоснование. Обоснование межповерочных интервалов. Калибровка средств измерений.

Измерения при контроле. Измерение зондирующего сигнала. Измерение параметров системы. Измерение показателей качества. Точность измерений показателей качества. Контрольные допуски. Гарантированные допуски. Принципы назначения допусков. Алгоритм определения допусков. Ошибки при контроле по допускам. Вероятности ошибок контроля.

Методы и средства измерений электрических и магнитных величин

Законы Кирхгофа и Ома. Закон магнитной индукции Ампера. Теорема Ампера. Методы измерений электрических и магнитных величин. Классификация средств измерений электрических и магнитных величин. Электрические измерительные преобразователи. Основные узлы электроизмерительных приборов. Измерения силы токов и напряжений. Измерения частоты, энергии и количества электричества. Измерения частоты и фазы, анализ спектра электрических сигналов. Измерения параметров цепей постоянного и переменного тока. Измерения параметров магнитного поля, определение характеристик и параметров магнитных материалов. Методы и средства поверки средств измерений электрических и магнитных величин.

Основы метрологического обеспечения

Особенности метрологического обеспечения при разработке, производстве и эксплуатации технических устройств. Средства измерений как основа метрологического обеспечения. Влияние средств измерений на точность и надежность технических устройств. Выбор средств измерений по точности. Автоматические измерительные системы как средства диагностики, контроля и поверки. Сигнатурные и логические анализаторы. Метрологическое обеспечение автоматических измерительных систем.

Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений». Общие положения, единицы величин. Средства и методики выполнения измерений. Метрологические службы. Государственный метрологический контроль и надзор. Калибровка и сертификация средств измерений.

Сущность методологии проведения метрологического сопровождения и метрологической экспертизы технических объектов. Основные направления их совершенствования.

Обработка цифровых сигналов и изображений

Элементы теории сигналов. Представление сигналов в цифровой форме. Дискретизация по времени. Теорема Котельникова. Квантование по уровню. Базовые аспекты цифровой обработки сигналов. Линейная система

преобразования цифрового сигнала (процессор, оператор, фильтр), представление в виде дифференциального (разностного) уравнения, блок диаграммы. Свойства линейных систем. Операция линейной цифровой свертки. Импульсный отклик процессора, реакция на ступенчатую функцию – возмущение. Z-преобразование. Основные свойства преобразования. Нули и полюса цифрового сигнала и передаточной функции процессора. Синтез простейших фильтров. Геометрическая интерпретация спектральной характеристики фильтра. Определение положения нулей и полюсов передаточной функции фильтра с заданными свойствами. Проектирование КИХ фильтров с помощью преобразования Фурье. Определение передаточной функции. Применение операции усечения с помощью окон. Выбор функции окна. Спектральные свойства окон. БИХ фильтры. Проектирование цифровых фильтров Баттерворта и Чебышева методом билинейного z-преобразования. Дифференцирование и интегрирование цифровых сигналов. Передаточная функция идеального дифференциатора. Цифровые интеграторы 0-го, 1-го и 2-го порядков, сопоставление их спектральных характеристик. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Различия рядов Фурье, непрерывного и дискретного преобразований Фурье. Свойства ДПФ, расчет спектральных коэффициентов.

Вопросы для самоконтроля

1. Расчет доверительных границ поля допусков погрешности измерительных устройств.
2. Обработка результатов измерений. Требования к методам обработки результатов измерений.
3. Обработка результатов нескольких однородных равноточных и неравноточных групп измерений.
4. Обеспечение единства измерений. Система воспроизведения единиц и передачи их размеров рабочим средствам измерения.
5. Измерения силы токов и напряжений. Измерения частоты, энергии и количества электричества.
6. Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений». Общие положения.
7. Методы измерения электрических и магнитных величин.
8. Погрешности измерений и обработка результатов измерений.
9. Электронные измерительные приборы, их общие свойства и метрологические характеристики.
10. Прямые и косвенные измерения. Совокупные и совместные измерения. Однократные и многократные измерения. Равноточные и неравноточные измерения.
11. Погрешности измерений, Погрешность и достоверность результата измерения. Виды погрешности измерений. Точность, правильность, сходимость результатов измерений. Округление результатов измерений.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Погрешности измерительных устройств в статическом и динамическом режимах. Расчет доверительных границ поля допусков погрешности измерительных устройств.
2. Суммирование погрешностей измерительного канала для зависимых и независимых составляющих.
3. Расчет динамических погрешностей линейных и нелинейных измерительных устройств.
4. Погрешности измерений, Погрешность и достоверность результата измерения. Виды погрешности измерений.
5. Точность, правильность, сходимости результатов измерений. Округление результатов измерений.
6. Погрешности измерительных устройств в статическом и динамическом режимах.
7. Расчет доверительных границ поля допусков погрешности измерительных устройств.
8. Измерения параметров цепей постоянного и переменного тока.
9. Измерения параметров магнитного поля, определение характеристик и параметров магнитных материалов.
10. Автоматические измерительные системы как средства диагностики, контроля и поверки.
11. Метрологическое обеспечение автоматических измерительных систем. Выбор средств измерений по точности.
12. Средства и методики выполнения измерений. Государственный метрологический контроль и надзор.
13. Поверка, калибровка и сертификация средств измерений.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы,

что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012г

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. РМГ 29-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. 2014. - 122 с.
2. Датчики: Справочное пособие. // Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.
3. Картер Б., Манчини Р. Операционные усилители для всех. // - М.: Додека-XXI, 2011. (электронная версия www.iit.my1.ru).
4. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. / Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение. 2005. – 656 с.
5. Данилов А.А. Метрологическое обеспечение измерительных систем. - СПб.: Политехника-Сервис, 2014. - 189 с.
6. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 2008. – 216 с. (электронная версия www.iit.my1.ru)
7. Воеводин В.В., Воеводин В.Вл. Параллельные системы и параллельные вычисления. – СПб.: БХВ, Санкт-Петербург, 2011.
8. Шонфелдер Герт, Шнайдер Корнелиус. Измерительные устройства на базе микропроцессора ATmega. – СПб.: БХВ-Петербург. 2012. – 288 с.
9. Искусство схемотехники. / П. Хоровиц, У. Хилл . Пер. с англ. – 7-е изд. – М.: БИНОМ, 2014 . – 704 с. - ISBN 978-5-9518-0351-1.
10. Современная прикладная теория управления. Ч. I: Оптимизационный подход в теории управления. / Под ред. А.А. Колесникова. – М.: ФЦ "Интеграция", - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. - 400с.

11. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника : учебное пособие для вузов по направлениям подготовки в области техники и технологии: Учебное пособие. / К. К. Ким, [и др.]. – СПб.: Питер, 2010. – 368 с. - ISBN 978-5-469-01090-6.
12. Аналого-цифровое преобразование. / Ред. У. Кестер . Пер. с англ. – М.: Техносфера, 2007. – 1016 с. - ISBN 978-5-94836-146-8.
- 13.. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005 – 992 с. (электронная версия www.iit.myl.ru)

Дополнительная литература:

14. Боборыкин А.В. и др. Однокристалльные микроЭВМ.- М.: Бином, 1994.
15. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем. - М.: Машиностроение, 1991.
16. Финогенов К.Г. Программирование измерительных систем реального времени. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
17. Метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем: Сборник руководящих документов. - М.: Изд-во стандартов, 1984.
18. Микушин А.В. Цифровые устройства и микропроцессоры: Учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010, - 832 с.
19. Метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем (теория, методология, организация). // Под ред. Е.Т. Удовиченко. - М.: Изд-во стандартов, 1991.
20. Авдеев в. А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование, ДМК Пресс, 2009.
21. Липаев В.В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств. // Методы и стандарты. Сер. Информационные технологии. - М.: СИНТЕГ, 2001.
22. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений. - М.: Изд-во стандартов, 1991.
23. Метрологическое обеспечение и эксплуатация средств измерений / В.А. Кузнецов и др. - М.: Радио и связь, 1990.
24. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1991.
25. Диденко В.И. Моделирование аналоговых интегральных схем. - М.: МЭИ, 1984.
26. Нейронные сети и нейрокомпьютеры : Учебное пособие по курсу "Микропроцессоры" по направлению "Информатика и вычислительная техника" / П. Г. Круг, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 176 с. - ISBN 5-7046-0832-9.
27. Сигнальные процессоры и нейрокомпьютеры / П. Г. Круг . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 256 с. - ISBN 5-7046-0865-5.
28. Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьёва Е.Б. Основы цифровой обработки сигналов. // - СПб: «БХВ-Петербург», 2005 - 768 с.

29. Датчики измерительных систем: В 2 кн. Кн.1.: пер. с фр. / Ж. Аш . – М.: Мир, 1992 . – 480 с. - ISBN 5-03-001641-4. (электронная версия www.iit.my1.ru).
30. Датчики измерительных систем: В 2 кн. Кн.2.: пер. с фр. / Ж. Аш . – М.: Мир, 1992 . – 424 с. (электронная версия www.iit.my1.ru).
31. Цифровые сигнальные процессоры. Кн.1. / С. Марков . – М.: МикроАрт, 1996. – 144 с. - ISBN 5-88579-002-7.
32. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. / – СПб.:«Питер», - 758 с., 2011.
33. Джонсон Д., Джонсон Дж., Мур Г. Справочник по активным фильтрам. – М.: Мир, 1983.
34. Микропроцессорные системы и микроЭВМ в измерительной технике. Под ред. А.Г.Филиппова. - М.: Энергоатомиздат, 1995.


Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:


1. База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>
2. База данных Scopus <https://www.scopus.com>
3. База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>
4. Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>
5. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>
6. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>
7. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доктор техн. наук, профессор

 Желбаков И.Н.

Заведующий кафедрой диагностических
информационных технологий
докт. техн. наук, профессор

 Желбаков И.Н.

Директор Института информационных
и вычислительных технологий

 Вишняков С.В.