

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
В. Р. Стемпицкий
« 10 » _____ 2023 г.



ПРОГРАММА

**вступительного экзамена в аспирантуру по специальности
05.11.08 «РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ»**

Минск 2023

СОСТАВИТЕЛИ:

Гурский Александр Леонидович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

Гусинский Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

Белошицкий Анатолий Павлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

Певнева Наталья Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

кафедрой ИКТ учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 16 от «03» мая 2023 г.)

Зав. кафедрой ИКТ



В.Ю. Цветков

Раздел 1 ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Тема 1.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРЕНИЯХ

Основные термины и определения в области метрологии: метрология, физические величины и их единицы, измерения и их виды, принципы и методы измерений, погрешности измерений и их разновидности, средства измерений и их общая классификация.

Тема 1.2 СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ

Классификация систематических погрешностей. Способы обнаружения и оценки систематических погрешностей. Способы уменьшения систематических погрешностей. Суммирование неисключенных остатков систематических погрешностей.

Тема 1.3 СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Математическое описание случайных погрешностей и их вероятностные характеристики. Точечная и интегральная оценки случайных погрешностей прямых равноточных и неравноточных измерений. Критерий грубых погрешностей. Оценка случайных погрешностей косвенных измерений. Критерий ничтожных погрешностей.

Обработка результатов многократных наблюдений при прямых и косвенных измерениях. Оценка суммарной погрешности результата измерения. Оценка погрешности измерения с однократными наблюдениями.

Тема 1.4 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Основные положения метрологического обеспечения Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая служба Республики Беларусь, ее структура и основные задачи.

Высшие метрологические достижения в области электрорадиоизмерений. Эталоны единиц электрических величин. Передача размера единиц электрических величин. Поверочные схемы.

Раздел 2 ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Тема 2.1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЙ

Классификация средств измерений электрических величин и принятая система их обозначений. Технические и метрологические характеристики средств измерений электрических величин. Нормирование метрологических характеристик. Общие требования к средствам измерений электрических величин. Общие

структурные схемы измерительных приборов прямого преобразования и сравнения, их краткая характеристика.

Тема 2.2 ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СИЛЫ ТОКА

Измеряемые параметры тока и напряжения. Классификация приборов для измерения силы тока и напряжения.

Измерение тока и напряжения электромеханическими приборами. Общие сведения об электромеханических приборах и их классификация по способу преобразования электромагнитной энергии в механическую. магнитоэлектрические, электродинамические, электромагнитные и электростатические приборы. Принцип работы, устройство, область применения и основные характеристики.

Измерение тока на радиочастотах. Выпрямительные, термоэлектрические и фотоэлектрические амперметры. Принцип работы, область применения и основные характеристики.

Измерение напряжения электронными аналоговыми вольтметрами. Аналоговые вольтметры прямого преобразования и сравнения. Типовые структурные схемы и основные функциональные узлы аналоговых вольтметров. Измерители отношения напряжений. Зависимость показаний вольтметров от формы кривой измеряемого напряжения.

Измерение напряжения электронными цифровыми вольтметрами. Общие сведения о цифровых измерительных приборах и классификация цифровых вольтметров (ЦВ).

ЦВ постоянного тока, реализующие время-импульсный, частотно-импульсный и кодо-импульсный методы преобразования. ЦВ переменного тока. Универсальные ЦВ и мультиметры. Основные узлы ЦВ.

Тема 2.3 ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

Общие сведения и классификация методов и приборов для измерения мощности. Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока.

Измерение поглощаемой мощности на высоких и сверхвысоких частотах. Тепловые методы: калориметрический, болометрический (термисторный) и термоэлектрический. Электронные методы: метод вольтметра и метод с использованием эффекта «горячих» носителей тока.

Измерение проходящей мощности. Метод с использованием направленных ответвителей и зондов, метод поглощающей стенки, метод с использованием эффекта Холла и пондеромоторный метод.

Тема 2.4 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ

Общие сведения и классификация приборов для измерения частоты и интервалов времени. Принципы и методы измерений в различных частотных диапазонах.

Резонансные частотомеры, принцип работы, устройство и область применения.

Цифровые частотомеры, принцип их работы, типовая структурная схема, основные режимы работы и параметры цифровых частотомеров. Цифровые частотомеры низких, высоких и сверхвысоких частот.

Измерение интервалов времени. Использование методов прямого преобразования и сравнения для измерения интервалов времени.

Тема 2.5 ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОГО СДВИГА

Общие сведения и классификация приборов для измерения фазовых сдвигов. Метод суммы и разности напряжений. Гомодинные и гетеродинные фазометры.

Нулевой метод. Измерительные фазовращатели. Метод преобразования фазового сдвига в интервал времени. Неинтегрирующие и интегрирующие цифровые фазометры.

Коммутационно-модуляционный метод. Интегрирующий цифровой фазометр периодического сравнения.

Тема 2.6 ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ, СПЕКТРА И НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ

Классификация приборов для исследования формы, спектра и нелинейных искажений сигналов.

Электронно-лучевые осциллографы (ЭЛО). Обобщенная структурная схема и основные параметры электронно-лучевого осциллографа. Универсальные ЭЛО и их основные разновидности: одноканальные, многоканальные и многолучевые, многофункциональные и цифровые, скоростные, стробоскопические и запоминающие осциллографы. Осциллографические измерения и их автоматизация.

Анализ спектра сигналов. Общие сведения и краткая характеристика анализа спектра. Фильтровые, дисперсионные и цифровые анализаторы спектра. Основные параметры и область применения анализаторов.

Измерение параметров модуляции. Основные виды модуляции и измеряемые параметры. Измерение коэффициента амплитудной модуляции, девиации частоты и индекса частотной модуляции.

Измерение нелинейных искажений. Коэффициент гармоник как основная количественная характеристика нелинейных искажений. Спектральный и интегральный методы измерения коэффициента гармоник.

Тема 2.7 ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Общие сведения, основные вероятностные характеристики случайных сигналов и их оценки. Измерение среднего значения, средней мощности и дис-

персии стационарных эргодических сигналов. Статистические погрешности измерений.

Анализ распределения вероятностей этих сигналов. Измерение корреляционных функций. Анализ спектров случайных сигналов. Цифровые измерители характеристик случайных сигналов, особенности их работы.

Тема 2.8 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Классификация измерительных генераторов. Обобщенная структурная схема и основные параметры измерительных генераторов.

Измерительные генераторы гармонических сигналов. Низкочастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные генераторы. Генераторы качающейся частоты. Синтезаторы частоты.

Измерительные генераторы импульсов и специальной формы. Генераторы шумовых сигналов

Тема 2.9 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ

Общие сведения и классификация приборов для измерения параметров цепей с сосредоточенными постоянными.

Измерение параметров двухполюсников. Измерительные линии. Измерители полных сопротивлений.

Магнитоэлектрические и электронные омметры. Мостовые измерители параметров двухполюсников. Основы теории и классификация измерительных мостов. Измерительные мосты постоянного и переменного токов. Резонансные измерители параметров двухполюсников контурного и генераторного типа.

Измерение параметров четырехполюсников. Измерители амплитудно-частотных, фазо-частотных и амплитудных характеристик четырехполюсников. Измерение коэффициента шума.

Тема 2.10 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ

Общие сведения и классификация приборов для измерения параметров цепей с распределенными постоянными.

Измерение параметров двухполюсников. Измерительные линии. Измерители полных сопротивлений.

Измерение параметров четырехполюсников. Измерители амплитудно-частотных, фазо-частотных и амплитудных характеристик четырехполюсников. Измерение коэффициента шума.

Общие сведения о цепях с распределенными постоянными. Измерение параметров цепей с распределенными постоянными. Измерительные линии. Измерители КСВ и ослабления. контурного и генераторного типов. Цифровые измерители параметров двухполюсников

Тема 2.11 ИЗМЕРЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Измерение параметров и характеристик излучающих и приемных преобразователей и устройств

Измерение параметров и характеристик оптических волокон (ОВ) и оптических кабелей (ОК).

Метод обратного рассеяния. Оптический рефлектометр. Измерение уровней оптических сигналов и затухания ОВ и ОК.

Тема 2.12 ИЗМЕРЕНИЯ В ДИАПАЗОНАХ СВЕРХВЫСОКИХ И КРАЙНЕВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Обобщенная структурно-функциональная схема измерителя (анализатора) параметров СВЧ и КВЧ цепей.

Основные функциональные блоки средств измерений СВЧ и КВЧ диапазонов и особенности их технической реализации в этих диапазонах. Методы и средства измерений СВЧ и КВЧ диапазонов.

Измерения параметров и характеристик СВЧ цепей во временной области.

Раздел 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЙ

Тема 3.1 ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Структурные схемы информационно-измерительных систем (ИИС). Информационные характеристики ИИС. Основные узлы ИИС. Организация обмена данными в ИИС. Помехоустойчивость в ИИС. Избыточность и методы ее уменьшения. Защита ИИС от помех. ИИС ближнего действия. Системы телеконтроля и телеизмерения. Системы технической диагностики. Измерительно-вычислительные комплексы. Точностные характеристики ИИС. Нормируемые метрологические характеристики ИИС.

Тема 3.2 КОМПЬЮТЕРНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Основные концепции построения компьютерно-измерительных систем. Обобщенная структурная схема компьютерно-измерительной системы (КИС). КИС с программируемой архитектурой. Программное обеспечение компьютерно-измерительных систем. Оценка гибкости и интенсивности использования средств измерений. Сравнение эффективности различных средств измерений.

Основные составляющие КИС, их аппаратная реализация.

Виртуальные средства измерений, их особенности, методы реализации.

Интерфейсы комплексов средств измерений: общие сведения и примеры реализации. Автоматизация поверки и калибровки средств измерений. Метод дистанционных измерений. Теоретическая модель метода дистанционной калибровки радиоизмерительных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: учеб. пособие; под общ. Ред. Б.Н.Тихонова. 2-е изд. стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012.

2 Аминев, А. В. Основы радиоэлектроники: измерения в телекоммуникационных системах : учебное пособие для СПО / А. В. Аминев, А. В. Блохин ; под общ. ред. А. В. Блохина. – М. : Юрайт, 2021.

3 Данилин, А. А. Измерения в радиоэлектронике : учебное пособие / А. А. Данилин, И. С. Лавренко ; под ред. А. А. Данилина. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2021.

4 Хамадулин, Э. Ф. Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах : учебное пособие / Э. Ф. Хамадулин. – Москва : Юрайт, 2016.

5 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учебник для вузов / В. И. Нефедов [и др.] ; под общ. ред. В. И. Нефедова и А. С. Сигова. – 3-е изд. перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 2005.

6 Сергеев, Н. П. Метрология, стандартизация и технические измерения в радиоэлектронике : учеб. пособие / Н. П. Сергеев. – М. : МАТИ. – 2008. – 360 с.

7 Дворяшин, Б. В. Метрология и радиоизмерения : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б. В. Дворяшин. – М. : Издательский центр «Академия», 2005.

8 Волоконно-оптические системы передачи : учебник для вузов / М. М. Бутусов [и др.] ; под ред. В. Н. Гомзина, – М. : Радио и связь, 1992.

9 Измерительные информационные системы : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Раннев. — М. : Издательский центр «Академия», 2010.

Дополнительная

1 Елизаров, А. С. Электрорадиоизмерения : учебник для вузов / А. С. Елизаров. – Минск : Выш. шк., 1986.

2 Харт Х. Введение в измерительную технику: Пер. с нем. – М.: Мир, 1999.

3 Ратхор, Т. С. Цифровые измерения. Методы и схемотехника. – М. : Техносфера, 2004.

4 Оптические системы передачи : учебник для вузов / Б. В. Скворцов [и др.] ; под ред. В. И. Иванова. – М. : РиС, 1994.

5 Белошицкий, А. П. Метрология и измерения. Измерение параметров цепей с распределенными постоянными : учебно-метод. пособие / А. П. Белошицкий, А. В. Гусинский, А. М. Кострикин. – Минск : БГУИР, 1996.

6 Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах : методы и техника / Р. А. Валитов [и др.] ; под ред. Р. А. Валитова и Б. И. Макаренко. – М. : Радио и связь, 2002.

7 Гришукевич, И. Е. Информационно-измерительные системы : учеб.-метод. пособие / И. Е. Гришукевич, А. В. Гусинский, С. В. Ляльков. – Минск : БГУИР, 1995.

8 Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / Ф. Мейзда. – М. : Мир, 1990.

9 Виртуальные средства измерений: учеб.-метод.пособие / А.Л.Гурский, В.Т.Ревин. Минск: БГУИР, 2016.

10 Симонович, С. В. Специальная информатика : учеб. пособие / С. В. Симонович, Г. А. Евсеев, А. Г. Алексеев. – М. : АСТПРЕСС : Инфорком-Пресс, 2002.

11 Измерение мощности СВЧ в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн / И. Ф. Бурак, А. В. Гусинский, Г. А. Шаров, А. В. Ворошень, А. Н. Луферов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2018.

12 Векторные анализаторы цепей сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн / В. А. Богущ, А. В. Гусинский, Г. А. Шаров, А. М. Кострикин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2019.