

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Кафедра «Промышленная электроника»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

по дисциплине «Метрология и технические измерения»
для студентов направления 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника»
заочной формы обучения

Комсомольск-на-Амуре
2015

ВВЕДЕНИЕ

Рабочая программа дисциплины «Метрология и технические измерения» разработана на основании требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования бакалавров по направлению 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника», профиль «Промышленная электроника», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 21.12.2009 г. № 743.

Дисциплина «Метрология и технические измерения» является компонентом базовой части профессионального блока и входит в состав федеральной части основной образовательной программы подготовки бакалавров, изучается на втором курсе в третьем семестре.

В рамках дисциплины «Метрология и технические измерения» студенты изучают: теоретические основы метрологии и стандартизации; основные понятия, связанные с объектами и средствами измерений; средства и методы измерения электрических величин, обеспечивающие необходимую точность и высокую эффективность научных исследований и технологических процессов.

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1 Предмет, цели, задачи, принципы построения и реализации дисциплины

ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника» содержит следующую характеристику:

1) **область профессиональной деятельности бакалавров включает** совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, направленной на теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, технологию производства, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, электронных приборов, устройств, установок вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой, оптической, микро- и наноэлектроники различного функционального назначения;

2) **объектами профессиональной деятельности бакалавров являются** материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования, технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач, современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники;

3) **профессиональные задачи бакалавров** в соответствии с видами профессиональной деятельности:

а) *проектно-конструкторская деятельность*:

- проведение предварительного технико-экономического обоснования проектов;

- сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения;

- расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования;

- разработка проектной и технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ;

- контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам;

б) *производственно-технологическая деятельность*:

- внедрение результатов исследований и разработок в производство; выполнение работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники;

- подготовка документации и участие в работе системы менеджмента качества на предприятии;

- организация метрологического обеспечения производства материалов и изделий электронной техники;

- контроль соблюдения экологической безопасности;

в) *научно-исследовательская деятельность*:

- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;

- математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования;

- участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;

- подготовка данных и составление обзоров, рефератов, отчетов, научных публикаций и докладов на научных конференциях и семинарах, участие во внедрении результатов исследований и разработок;

- организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия;

г) *организационно-управленческая деятельность*:

- организация работы малых групп исполнителей; участие в разработке организационно-технической документации (графиков работ, инструк-

- ций, планов, смет) и установленной отчетности по утвержденным формам;
- выполнение работ по сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
 - профилактика производственного травматизма, профессиональных заболеваний, предотвращение экологических нарушений;
- д) *монтажно-наладочная деятельность*:
- участие в монтаже, наладке, настройке, регулировке и опытной поверке измерительного, диагностического, технологического оборудования и программных средств, используемых для решения различных научно-технических, технологических и производственных задач в области электроники и нанoeлектроники;
 - участие в наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов материалов и изделий электронной техники;
- е) *сервисно-эксплуатационная деятельность*:
- эксплуатация и сервисное обслуживание аппаратно-программных средств и технологического оборудования производства материалов и изделий электронной техники;
 - проверка технического состояния и остаточного ресурса оборудования, организация профилактических осмотров и текущего ремонта;
 - составление заявок на оборудование и запасные части, подготовка технической документации на ремонт;
 - составление инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.

Предметом дисциплины «Метрология и технические измерения» являются теоретические основы метрологии, стандартизации и технических измерений, обеспечивающие высокую точность и эффективность в научных исследованиях и технике.

Цели дисциплины: объединение фундаментальных знаний основных законов и методов проведения исследований с последующей обработкой и анализом результатов исследований на основе использования правил и норм метрологии; формирование навыков оценивания погрешности измерительных систем.

Задачи дисциплины

Бакалавр должен знать:

- термины и определения в метрологии, принципы измерения (З-1);
- теорию определения погрешностей измерения (З-2);
- средства измерения физических величин (З-3);
- основы стандартизации (З-4).

Бакалавр должен уметь:

- правильно выбирать и применять средства измерений (У-1);
- организовывать измерительный эксперимент (У-2);
- обрабатывать и представлять результаты измерений в соответствии с принципами метрологии и действующими нормативными документами (У-3).

Принципы построения и реализации дисциплины:

- 1 Принцип соответствия требованиям ФГОС ВО.
- 2 Принцип преемственности. Студенты бакалавры изучали дисциплины «Физика конденсированного состояния», «Физические основы электроники». В связи с этим рассматриваемая дисциплина углубляет знания, уже имеющиеся у студента, и дополняет их новыми сведениями и умениями.
- 3 Принцип научности, обеспечивающий соответствие изучаемого материала современному состоянию и перспективам развития соответствующей области знаний, отраслей техники и технологии.
- 4 Профессиональная направленность, связь теории и практики обучения с будущей профессиональной деятельностью. Знания и умения, получаемые студентом при изучении дисциплины, будут совершенно необходимы при выполнении курсовых проектов и итоговой аттестационной работы. В дальнейшем они, безусловно, пригодятся в профессиональной деятельности.
- 5 Системность и логическая последовательность представления учебного материала и его практических приложений. Материал изложен так, что изучение последующего вопроса предполагает знание предыдущих. Лекционный материал закрепляется лабораторными занятиями.
- 6 Принцип модульного построения дисциплины, когда каждый из компонентов-модулей дисциплины имеет определенную логическую завершенность по отношению к установленным целям и результатам воспитания/обучения. Модули курса следуют друг за другом в логической последовательности.
- 7 Принцип доступности, обеспечивающий соответствие объема и сложности учебного материала реальным возможностям студентов. Лекции составлены максимально кратко и лаконично с тем, чтобы наиболее четко и понятно изложить учебный материал. Практические занятия целиком и полностью соответствуют материалу лекций, текст заданий содержит подробные указания по их выполнению.
- 8 Принцип опоры на практический жизненный опыт студентов. Теоретический материал иллюстрирован примерами, взятыми из повседневной жизни. Практические занятия также содержат задания, встречающиеся в других дисциплинах, изучаемых студентами.
- 9 Принцип формирования мотивации, положительного отношения к процессу обучения. Лекции – простые и ясные, с большим количеством интересных примеров. Практические работы – увлекательные и зрелищные, с наглядными результатами. Все это формирует у студентов желание изучать дисциплину.
- 10 Принцип постоянного контроля, оценки и стимулирования учебных достижений обучающегося. Каждое практическое занятие имеет контрольные вопросы, которые позволяют студентам хорошо запоминать лекционный материал в процессе учебы.

1.2 Роль и место дисциплины в структуре реализуемой основной образовательной программы

Межпредметная связь

Для изучения дисциплины «Метрология и технические измерения» необходимо знание следующих дисциплин:

- математика (основные понятия и методы математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, теории функций комплексной переменной, теории вероятностей и математической статистики, дискретной математики);

- физика (фундаментальные законы природы и основные физические законы в области механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики и атомной физики).

Дисциплина «Метрология и технические измерения» является одной из дисциплин, начинающих схемотехническую подготовку бакалавров по направлению 11.03.04 – «Электроника и наноэлектроника».

Требования к результатам освоения основных образовательных программ подготовки бакалавра

Дисциплина «Метрология и технические измерения» должна формировать у выпускников по профилю подготовки **Промышленная электроника** с квалификацией (степенью) «бакалавр» следующие компетенции, являющиеся составной частью формируемых компетенций основной образовательной программы в соответствии с ФГОС ВО.

При изучении дисциплины формируются *общекультурные компетенции*:

- способность владеть культурой мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения (ОК-1);

- способность к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3);

- способность использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-5).

При изучении дисциплины формируются *профессиональные компетенции*:

- готовность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);

- способность владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных (ПК-5);

- готовность организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники (ПК-16);

- способность выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-25).

1.3 Характеристика трудоемкости дисциплины и ее отдельных компонентов

В содержании дисциплины сбалансировано соотношение между различными видами учебной работы: объем лекций достаточен для бакалавров данного профиля. Для получения практических навыков, знакомства с методами и средствами измерения лекции дополнены лабораторными занятиями. Индивидуальная работа направлена на обучение студентов методам определения метрологических характеристик устройств, самостоятельную работу с дополнительной литературой. Все виды учебной работы в целом способствуют формированию компетенций, приведенных в подразделе 1.2.

Виды учебной работы и их распределение по часам и зачетным единицам (ЗЕТ) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика трудоемкости дисциплины

Наименования показателей	Се- местр	Значения трудоемкости						
		всего			в том числе			
		ЗЕТ	часы		аудиторные занятия, ч		самостоятель- ная работа, ч	промежуточная аттестация, ч
			всего	в неделю	всего	в неделю		
1 Трудоемкость дисциплины в целом (по рабочему учебному плану программы)	3	4	144	-	14	-	94	36
2 Трудоемкость дисциплины в семестре (по рабочему учебному плану программы)	3	4	144	-	14	-	94	36
3 Трудоемкость по видам аудиторных занятий:								
- лекции	3	-	-	-	10	10	40	-
- лабораторные занятия	3	-	-	-	4	4	27	-
- выполнение контрольной работы	3	-	-	-	-	-	27	-
4 Промежуточная аттестация (число начисляемых ЗЕТ):								
- экзамен	3	4	-	-	-	-	-	36

2 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В таблице 2 приведено распределение дисциплины по разделам, а также приведены реализуемые компетенции.

Таблица 2 – Структура и содержание дисциплины

Наименования разделов	Содержание разделов	Трудоемкости разделов, ч	Основные результаты изучения разделов	
			знания, умения, навыки	компетенции
Основы метрологии	Основные понятия метрологии. Измерения и физические величины. Международная система (СИ). Меры, эталоны, образцовые и рабочие средства	12	З-1 У-2, У-3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
Методы и средства измерений	Основное уравнение измерений. Виды и методы измерения	15	З-1, З-3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
Теория оценки качества измерений	Теория погрешностей. Статистические методы и алгоритмы обработки результатов многократных измерений	20	З-1, З-2 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
Поверка и калибровка средств измерений	Средства измерения. Теория точности средств измерений	15	З-1,2,3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
Прикладная метрология	Измерения электрических величин. Электрические измерения неэлектрических величин	16	З-1,2,3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
Метрологический контроль и надзор	Основные методы и схемы поверки	15	З-1,2,3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
Стандартизация	Основные термины и определения. Нормативные документы по стандартизации, виды стандартов и их применение. Правовые основы стандартизации	15	З-4 У-3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
Промежуточная аттестация		36	З-1,2,3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, 5, 16, 25
В целом по дисциплине		144		

3 КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Лекции

Программа лекций представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Программа лекций

Тематика лекций	Трудоемкость, академ. ч		Ориентация материала лекции на формирование	
	лекции в целом	в том числе с использованием активных методов обучения	знаний, умений, навыков обучающихся	компетенций выпускников
1 Основы метрологии и стандартизации	2	2 презентация	3-1, 3-4 У-1, У-3	ОК-1,3,5 ПК-3, ПК-5, ПК-16, ПК-25
2 Погрешности измерения	2	2 презентация	3-2, 3-3 У-1, У-2	ОК-1,3,5 ПК-3, ПК-5, ПК-16, ПК-25
3 Методы и средства измерений	2	2 презентация	3-1, 3-3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, ПК-5, ПК-16, ПК-25
4 Поверка и калибровка средств измерения	2	2 презентация	3-1, 3-3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, ПК-5, ПК-16, ПК-25
5 Прикладная метрология	2	2 презентация	3-2, 3-3 У-1, У-2	ОК-1,3,5 ПК-3, ПК-5, ПК-16, ПК-25
В целом по дисциплине: 10 ч				
В том числе с использованием активных форм занятия: 10 ч				

3.2 Лабораторные занятия

Лабораторные занятия направлены на закрепление и углубление, практическое подтверждение теоретических концепций курса, а также на формирование и развитие знаний и умений планирования и реализации эксперимента.

Программа лабораторных занятий приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Программа лабораторных занятий

Наименования лабораторных занятий	Трудоемкость, академ. ч	Основные планируемые результаты	
		знания, умения, навыки	компетенции
Поверка электроизмерительных показывающих приборов	2	З-1,2,3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, ПК-5, ПК-16, ПК-25
Измерение омических сопротивлений и индуктивностей косвенным методом	2	З-1,2,3 У-1,2,3	ОК-1,3,5 ПК-3, ПК-5, ПК-16, ПК-25
В целом по дисциплине:	4 ч		

3.3 Контролируемая самостоятельная работа студента

Контрольная работа «*Обработка результатов измерений при наличии случайных погрешностей*» ориентирована на формирование и развитие у обучающихся умений и навыков определения погрешностей измерения и правильного представления результатов экспериментальных исследований.

Содержание контрольной работы:

- теоретическая часть;
- задания по обработке результатов измерения;
- задача на инструментальные погрешности и формы их представления;
- обработка результатов измерений с учетом инструментальных погрешностей;
- задание на методические погрешности, возникающие при измерении вольтметром периодических сигналов сложной формы.

3.4 Характеристика трудоемкости, структуры и содержания самостоятельной работы и график ее выполнения

Виды самостоятельной работы студентов:

- подготовка к лекциям;
- самостоятельное изучение отдельных теоретических разделов курса;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- выполнение и оформление контрольной работы;
- подготовка к проводимой в форме экзамена промежуточной аттестации.

Темы, вынесенные для самостоятельного изучения студентами, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Темы, вынесенные на самостоятельное изучение

Наименования теоретических разделов курса	Количество часов
Сигналы измерительной информации	3
Электрический сигнал и формы его представления	3
Структурные схемы средств измерений и их метрологические характеристики	3
Информационно-измерительные системы	3
Измерительно-вычислительные комплексы	3
Работа средств измерения в статическом и динамическом режимах. Автоматизация измерений	3
Измеряемые магнитные величины: магнитный поток, индукция, напряженность магнитного поля	3
Измеряемые неэлектрические величины: температура, масса, длина, угол	3
Выбор средств измерений. Перспективы развития средств измерения	3
Всего	27

График выполнения самостоятельной работы приведен в таблице 6.

4 ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЕМЫХ

4.1 Технологии и методическое обеспечение контроля текущей успеваемости студентов

Для текущего контроля используется периодическая в течение сессии оценка результатов учебной деятельности каждого студента с учетом его активности на лекционных и лабораторных занятиях, выполнения графика контрольной работы.

Таблица 6 – График выполнения самостоятельной работы студентов в 18-недельном семестре

Вид самостоятельной работы	Число часов в неделю																		Итого по видам работы
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Подготовка к лекциям	1	1		1	1		1	1		1	1	1		1	1		1	1	13
Изучение теоретических разделов курса	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	27
Подготовка отчетов по лабораторным работам и к их защите	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	27
Выполнение и защита контрольной работы	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	27
ИТОГО:	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5	94

4.2 Технологии и методическое обеспечение промежуточной аттестации

Данная дисциплина изучается в течение одного семестра, рабочим учебным планом предусмотрена аттестация в форме экзамена. К экзамену студент допускается при наличии выполненных и защищенных лабораторных работ и контрольной работы. Экзамен проводится путем совмещения устной и письменной формы. Каждому студенту на экзамене выдается индивидуальный билет.

Перечень экзаменационных вопросов приведен в разделе 7.

Оценка «ОТЛИЧНО» – студент владеет знаниями предмета в полном объеме учебной программы, достаточно глубоко осмысливает дисциплину; самостоятельно, в логической последовательности и исчерпывающе отвечает на все вопросы билета, подчеркивает при этом самое существенное, умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал.

Оценка «ХОРОШО» – студент владеет знаниями дисциплины почти в полном объеме программы (имеются пробелы знаний только в некоторых, особенно сложных разделах); самостоятельно и отчасти при наводящих вопросах дает полноценные ответы на вопросы билета; не всегда выделяет наиболее существенное, не допускает вместе с тем серьезных ошибок в ответах.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – студент владеет основным объемом знаний по дисциплине; проявляет затруднения в самостоятельных ответах, оперирует неточными формулировками; в процессе ответов допускаются ошибки по существу вопросов. Студент способен решать лишь наиболее легкие задачи, владеет только обязательным минимумом методов исследований.

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» – студент не освоил обязательного минимума знаний предмета, не способен ответить на вопросы билета даже при дополнительных наводящих вопросах экзаменатора.

Оценка «отлично» или «хорошо» может быть выставлена студенту без дополнительного опроса по результатам текущей учебной работы в течение семестра, с учетом его активности на лекционных и лабораторных занятиях, выполнения графика самостоятельной работы и при наличии условий, перечисленных выше (для допуска к экзамену).

4.3 Технологии, методическое обеспечение и условия отложенного контроля знаний, умений, навыков обучающихся и компетенций выпускников, сформированных в результате изучения дисциплины

Перечень основных ключевых разделов дисциплины, формирующих теоретические и практические знания, умения и компетенции, необходимые для использования в дальнейшей учебной работе бакалавров и их будущей практической деятельности после окончания вуза:

- 1) обработка результатов измерения при наличии систематических погрешностей;
- 2) обработка результатов измерения при наличии случайных погрешностей;
- 3) инструментальные погрешности и формы их представления;
- 4) обработка результатов измерений с учетом инструментальных погрешностей;
- 5) методические погрешности вольтметров при измерении сигналов сложной формы;
- 6) учет инструментальной погрешности при выборе измерительного прибора;
- 7) выбор режима работы измерительного прибора на основе анализа его технических характеристик.

5 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ КУРСА

5.1 Основы метрологии

Основные понятия метрологии

Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. В соответствии с определением наука метрология охватывает три родовых понятия:

- 1) законодательную метрологию, разрабатывающую вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства и направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений;
- 2) теоретическую метрологию – раздел метрологии, относящийся к изучению ее теоретических основ;
- 3) практическую метрологию – раздел метрологии, посвященный изучению вопросов практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований.

В данном разделе основное внимание уделено теоретической метрологии, являющейся фундаментом практической метрологии. При изучении этого раздела, прежде всего, необходимо уяснить, что является предметом

метрологии законодательной, теоретической, практической. Какие задачи она решает? Что понимать под единством и требуемой точностью измерений? Знать этапы исторического развития метрологии и электрических измерений, их особенность. Роль и значение метрологии для научного и технического прогресса на каждом этапе.

Литература [2, 4].

Измерения и физические величины. Международная система (СИ)

При изучении этого раздела необходимо усвоить терминологию метрологических понятий и определений, связанных с физической величиной и ее измерением. Надо обратить внимание не только на технические, но и на философские аспекты понятий физической величины, размера, истинного и действительного значения, а также понятия измерения физической величины и необходимых для этого условий.

Знать принципы построения системы единиц физической величины. Основные и производные единицы и их размерности.

Знать международную систему единиц - СИ. Кратные и дольные единицы. внесистемные единицы. Правила написания и обозначения единиц физических величин. Знать, что понимают под информацией и сигналом измерительной информации. Усвоить смысл классификации сигналов на детерминированные и случайные и их разновидности.

Литература [1 - 6].

Меры, эталоны, образцовые и рабочие средства

Необходимо уяснить для каких целей служат меры. Целесообразно выделить меры, воспроизводящие электрические величины. Следует иметь представление об устройстве мер электрических величин и о способах передачи размеров единиц. Особое внимание обратить на требования, которые предъявляются к мерам.

Литература [1 - 6].

5.2 Методы и средства измерений

Основное уравнение измерений

Необходимо знать, что любое измерение осуществляется сравнением измеряемой физической величины с мерой, значение которой известно с требуемой точностью. Результатом измерения является количественная оценка какого-либо свойства объекта.

Понятие о классификации измерений, то есть способов сравнения измеряемой величины с мерой, является ключевым для изучения последующих разделов. Необходимо не только уметь правильно дать определение видов и методов измерения и их разновидностей, но и уметь показать это на конкретных примерах.

Нужно понимать разницу между физической и непосредственно измеряемой величиной. Связующим звеном между ними является идеализированная модель реального объекта. Таких моделей может быть много, важно чтобы они с достаточной степенью адекватности отражали интересующее нас свойство объекта.

Литература [1, 3, 5, 6].

Виды и методы измерения

При внимательном изучении измерение представляется сложным понятием, включающим в себя ряд структурных элементов, основными из которых являются: цель измерения, объект исследования, модель объекта, измеряемая величина, средства измерений, результат и погрешность измерения. Изучение структурных элементов является необходимой предпосылкой грамотного планирования эксперимента и его основных этапов – подготовки, самого эксперимента и обработки экспериментальных данных. Хорошо было бы показать это на конкретном примере и охарактеризовать каждый этап.

Литература [1, 3, 5, 6].

5.3 Теория оценки качества измерений

Теория погрешностей

Необходимо знать не только общее определение погрешности, но и ее физический смысл, природу, а также классификацию погрешностей измерения в зависимости от характера и причин ее проявления. В первую очередь усвоить различия между систематической и случайной погрешностями. Знать наиболее характерные источники погрешностей.

Следует обратить особое внимание на разнообразие систематических погрешностей и характер их проявления, а также на способы их выявления и исключения и математического представления. Уметь иллюстрировать конкретными примерами.

Литература [2, 4].

Статистические методы и алгоритмы обработки результатов многократных измерений.

Необходимо вспомнить понятия случайных величин и законов их распределения, плотности вероятности, дисперсии, среднеквадратичного отклонения и их оценки; генеральной совокупности и выборки. Исходя из этих понятий, следует уяснить специфику законов распределения случайных погрешностей измерений и, в частности, закон Гаусса. Следует четко уяснить различие между дисперсией и оценкой дисперсии; между среднеквадратичной погрешностью отдельного измерения (стандартная погреш-

ность) и погрешностью среднеквадратичной ряда измерений, то есть окончательного результата измерений, и их оценок; что любое измерение не имеет смысла без оценки его погрешности и что оценка эта носит вероятностный характер.

Погрешность измерения, как правило, представляет совокупность ряда составляющих. Влияние этих составляющих на результат измерения неодинаково. Следовательно, при обработке ряда измерений нужно уметь правильно оценить это влияние и определять полную величину погрешности. Именно эта работа является наиболее трудоемкой и требует от исполнителя высокой квалификации.

Литература [2, 4].

5.4 Поверка и калибровка средств измерений

Средства измерения

Электромеханические измерительные приборы. Электронные аналоговые приборы. Приборы сравнения. Цифровые измерительные приборы. Регистрирующие измерительные приборы. Измерительные преобразователи.

Литература [1, 3, 5, 6].

Теория точности средств измерений. Литература [1 - 6].

В разных точках диапазона измерения погрешность СИ может принимать различные значения, поэтому необходимо нормировать пределы допускаемых погрешностей, а следовательно, устанавливать какие-то границы, за пределы которых погрешность не должна выходить ни при изготовлении, ни в процессе эксплуатации. Пределы допускаемых погрешностей средств измерений электрических величин установлены ГОСТ 8.401-80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования».

Поверка средств измерения.

Инженеру приходится иметь дело с множеством разнообразных средств измерений. Важно уметь выбрать среди них те, которые обеспечат наиболее рациональную организацию методики измерений и требующуюся в данных условиях точность, поэтому прежде всего следует хорошо усвоить классификацию средств измерений. Изучить их структурные схемы и метрологические характеристики, влияющие на точность и погрешность измерения. Следует рассмотреть типичные составляющие погрешности средств измерений.

При этом надо четко понимать различие между погрешностями измерений и погрешностями средств измерений. Особо уделить внимание тем характеристикам свойств средств измерений, которые регламентируются в нормативно-технической документации, и рассмотреть формы представления метрологических характеристик. С особой тщательностью

следует изучить классы точности, так как с ними постоянно приходится сталкиваться на практике, и уяснить, чем следует руководствоваться при выборе класса точности для конкретного измерения.

Изучая тему, нужно четко усвоить структурные схемы приборов непосредственной оценки и общие принципы устройства и работы электромеханических измерительных приборов. Знать условные обозначения систем электромеханических приборов и параметры, указываемые на их шкалах и корпусе. Принцип действия приборов каждой системы, вывод уравнения шкалы, область применения, основные характеристики, достоинства и недостатки, способы расширения пределов измерения.

Следует обратить внимание на принципиальное отличие цифровых приборов от аналоговых. Необходимо знать, из каких основных узлов состоят цифровые приборы, каков принцип их действия на уровне структурных схем. Основные характеристики и источники погрешности цифровых приборов.

Литература [1, 3, 5, 6].

5.5 Прикладная метрология

Измерения электрических величин.

Это один из важнейших разделов курса. При изучении его нужно акцентировать внимание не столько на измерении конкретных величин, сколько на разнообразии средств, видов, методов и приемов измерения одних и тех же величин в зависимости от конкретных условий и требуемой точности.

Только овладение физическими принципами и методами измерения позволит ориентироваться в многочисленных и разнообразных средствах измерения и производить правильный их выбор, обеспечивающий необходимую точность.

Литература [1, 3, 5, 6].

Электрические измерения неэлектрических величин

Разнообразие приборов для измерения неэлектрических величин электрическими методами очень велико, поэтому изучение конкретных приборов практически не имеет смысла. В результате изучения материала этой темы у студентов должно сложиться общее представление о методах измерения неэлектрических величин электроизмерительными приборами, физических принципах, заложенных в конструкции преобразователей неэлектрических величин в электрические, методах устранения влияния внешних факторов. Уяснить возможность применения одних и тех же типов преобразователей для измерения различных величин.

При изучении приборов и преобразователей для измерения неэлектрических величин следует вначале уяснить, что для этих целей могут использоваться любые электроизмерительные приборы, снабженные измерительными преобразователями неэлектрической величины в электрическую. Уяснить классификацию преобразователей по принципу их работы и по входной и выходной величине. Затем перейти к изучению каждого типа преобразователей, обращая особое внимание на функцию преобразования.

Литература [1, 3, 5, 6].

5.6 Метрологический контроль и надзор

Основные методы и схемы поверки.

Метрологическая служба не является непосредственной сферой деятельности практикующего инженера, тем не менее инженеру необходимо иметь представление об ее структурной организации и задачах, которые она решает; знать, какие требования предъявляются при разработке технической документации, новых приборов, устройств, систем.

Литература [2, 4].

5.7 Стандартизация

Основные термины и определения. Нормативные документы по стандартизации, виды стандартов и их применение. Правовые основы стандартизации.

Для приведения показателей, устанавливаемых стандартами, в соответствие с современным научно-техническим уровнем было пересмотрено большое количество устаревших стандартов и внесены изменения в ряд действующих стандартов. Государственные стандарты России наряду с основными, качественными показателями стали регламентировать показатели надежности и долговечности изделий. Разработаны первые перспективные стандарты в области электроники, отражающие последние достижения науки, техники, современных технологий и мировой опыт промышленного производства.

Литература [2, 4].

6 КОНТРОЛИРУЕМАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА «ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ»

Основной формой заочного обучения является самостоятельная работа над рекомендуемой литературой.

До начала сессии студенты должны выполнить и сдать на проверку контрольную работу, которая состоит из четырех частей. Каждая часть

направлена на закрепление теоретического материала, на формирование знаний, умений и навыков, определяющих профессиональную деятельность бакалавра по направлению 210100 «Электроника и наноэлектроника».

Если в результате многократных измерений физической величины была получена выборка случайных значений $\{X\}$, то после проведения ее статистической обработки следует указать интервал значений от X_1 до X_2 , в котором заключено истинное значение измеряемой величины. Этот интервал называется доверительным, а численные значения X_1 и X_2 называются границами доверительного интервала, соответственно, вероятность нахождения истинного значения величины в границах $(X_1; X_2)$ называется доверительной вероятностью.

Доверительный интервал может быть выражен через среднее арифметическое выборки ряда наблюдений (A) и граничные значения погрешностей относительно среднего арифметического (ε_1 и ε_2). Надежность доверительного интервала задает доверительная вероятность, определяемая как вероятность нахождения случайной погрешности (ε) в пределах доверительного интервала. Поскольку деление погрешностей на систематические и случайные достаточно условно, то иногда принято систематические погрешности также оценивать по методике, справедливой для случайных величин, с применением равномерного закона распределения плотности вероятности.

Внешние воздействия определяют характер поведения случайных погрешностей и приводят к тому, что сам ряд данных многократного наблюдения $\{X_i\}$, $i = 1 \dots n$ становится выборкой случайных величин. При большом числе возмущающих факторов их суммарное воздействие вызывает появление случайных погрешностей, подчиняющихся нормальному закону распределения плотности вероятности.

6.1 Обработка результатов измерения

Задание 1. Для выборки экспериментальных данных, полученных при измерении выходного напряжения генератора, определить границы доверительного интервала при заданной доверительной вероятности P_d . Расчеты проводить в первом случае с использованием таблиц нормального закона, во втором – таблиц Стьюдента (приложение А). Объяснить разницу полученных результатов. При измерении используется цифровой вольтметр. В таблице 7 для вариантов приведены номер выборки, доверительная вероятность P_d , класс точности вольтметра c/d и предел измерения U_k . Числовые данные конкретной выборки необходимо взять из таблицы 8. **Номер варианта определяется как сумма двух последних цифр номера зачетной книжки.**

Таблица 7 – Таблица вариантов исходных данных

Вариант	Выборка	P_D	$U_k, В$	c/d	Вариант	Выборка	P_D	$U_k, В$	c/d
00	1	0,5	1	0,1/0,05	01	3	0,6	10	0,5/0,05
02	1	0,6	1	0,2/0,1	03	3	0,7	10	0,2/0,1
04	1	0,7	1	0,2/0,05	05	3	0,8	10	4,0/1,5
06	1	0,8	1	0,5/0,005	07	3	0,9	10	0,1/0,05
08	1	0,9	1	1,0/0,1	09	3	0,95	10	0,2/0,1
10	2	0,95	1	1,5/0,1	11	4	0,98	100	0,5/0,05
12	2	0,98	1	4,0/1,5	13	4	0,99	100	4,0/1,5
14	2	0,99	1	0,1/0,05	15	4	0,997	100	0,5/0,005
16	2	0,997	1	0,2/0,1	17	4	0,5	100	4,0/1,5
18	2	0,5	1	1,1/0,05	19	4	0,6	100	0,2/0,05

Таблица 8 – Числовые данные выборки

Выборка	Единица измерения	$\{U_i\}, i = 1 \dots 10$
1	мВ	952,5; 957,0; 955,5; 953,0; 954,5; 954,9; 955,1; 956,8; 955,2; 952,5
2	мВ	852,5; 857,0; 855,5; 853,0; 854,5; 854,9; 854,8; 855,1; 855,2; 852,5
3	В	6,525; 6,551; 6,545; 6,562; 6,549; 6,538; 6,525; 6,555; 6,545; 6,557;
4	В	85,61; 85,52; 85,39; 85,48; 85,25; 85,55; 85,45; 85,45; 85,55; 85,22

После завершения решения задачи результат должен быть представлен следующими численными значениями: средним арифметическим выборки, граничными значениями погрешностей, границами доверительного интервала и доверительной вероятностью.

Задание 2. Определение доверительной вероятности при заданном доверительном интервале. Для выборки случайных величин задания 1 определить значение доверительной вероятности, если заданы граничные значения погрешностей в процентном отношении к среднему арифметическому: ε_1 – нижняя граница, ε_2 – верхняя граница. Значения ε_1 и ε_2 приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Таблица значений

Вариант	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
$\varepsilon_1, \%$	-0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,05	-0,02	0	0	-0,1
$\varepsilon_2, \%$	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0,05	0,05	0,05	0,1	0,15
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	00
$\varepsilon_1, \%$	-0,01	-0,05	-0,05	-0,1	-0,02	-0,02	-0,015	-0,1	-0,1	-0,05
$\varepsilon_2, \%$	0,01	0,02	0,1	0,05	0,02	0,01	0,02	0,15	0,2	0,05

Задание 2 рекомендуется выполнять в следующей последовательности: используя вычисленное ранее значение «А», рассчитать ε_1 и ε_2 (границы погрешности); затем по формуле определить безразмерные коэффициенты t_1 и t_2 и по таблицам найти доверительную вероятность P_d . Форма записи результата:

$$P[X_1 \leq M \leq X_2] = P_d,$$

где доверительная вероятность определяется по таблицам нормального закона и закона Стьюдента.

6.2 Инструментальные погрешности и формы их представления

Инструментальные погрешности цифровых вольтметров обычно описываются трехчленной формулой относительной погрешности:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right],$$

где δ , c и d – выраженные в процентах максимальные относительные погрешности; U_k – верхняя граница диапазона измерения вольтметра (конечное значение шкалы прибора); U – текущее значение измеряемой величины.

Изменяя текущее значение напряжения, можно построить график распределения относительной погрешности (модуля) по диапазону измерения.

Задание 3. Построить графики распределения относительной и абсолютной погрешностей по диапазону измерения для цифрового вольтметра. Рассчитать значения относительной и абсолютной погрешностей, которые соответствуют среднему арифметическому значению выборки «А», определенному в задании 1. Найти относительную погрешность среднего арифметического $\delta(A)$. Определить абсолютную максимальную погрешность в точке шкалы, соответствующей значению «А»:

$$Q = \delta(A) \cdot A / 100 \text{ \%}.$$

Данные своего варианта, необходимые для расчета задания 3, взять из таблицы 7.

При начертании графиков следует придерживаться масштаба и указывать размерность величин, отложенных по координатным осям.

6.3 Обработка результатов измерений с учетом инструментальных погрешностей

Абсолютная погрешность, определенная по таблице, является максимальной с вероятностью 100 %, т.е. реальная погрешность никогда не превысит расчетную. Результирующая вероятность при наличии двух составляющих погрешности (инструментальной и случайной) определяется произведением вероятностей. Так как одна из вероятностей (для инструментальной погрешности) равна 1, то общая вероятность будет определяться случайной составляющей и, следовательно, она равна доверительной вероятности, которую можно взять из таблицы 7.

Однако следует учесть, что интервал, в котором находится истинное значение измеряемой величины, при этом расширится. Для определения нового интервала инструментальную погрешность представляют как случайную, распределенную по равномерному закону.

Среднеквадратическое значение для этой инструментальной погрешности определяется по формулам для равномерного закона:

$$\sigma(Q) = Q / \sqrt{3}.$$

Суммарная среднеквадратическая погрешность запишется:

$$Q(\varepsilon, Q) = \sqrt{\varepsilon_i^2 + s(A)^2 + \sigma(Q)^2}.$$

Для определения суммарных граничных значений погрешностей « Δr » следует вычислить новое значение безразмерного коэффициента « tr »

$$tr = (\varepsilon_i + Q) / (s(A) + \sigma(Q)),$$

где ε_i принимает значение ε_1 , ε_2 в зависимости от того, какая граница (нижняя или верхняя) определяется. Окончательно граничные значения погрешности запишутся:

$$\Delta r = tr \cdot \sigma(\varepsilon, Q).$$

Соответственно определяются границы доверительного интервала:

$$X_1 = A - \Delta r_1, X_2 = A + \Delta r_2.$$

Задание 4. Определить доверительный интервал для заданной доверительной погрешности с учетом инструментальной погрешности, используя описанную методику. Данные варианта необходимо взять из таблицы 7. Все расчеты произвести с использованием распределения Стьюдента. Результат записать в стандартной форме, указав границы доверительного интервала и доверительную вероятность.

6.4 Методические погрешности, возникающие при измерении вольтметром периодических сигналов сложной формы

В подавляющем большинстве случаев необходимо иметь информацию о действующем (среднеквадратическом) значении сигнала сложной формы, поэтому наиболее востребованными являются приборы, измеряющие действующее значение напряжения. Однако при конструировании таких приборов возникает ряд трудностей, связанных с обеспечением широкого частотного диапазона и высокой точности. Для нахождения действующего значения напряжения используют приборы, измеряющие амплитудное или средневыпрямленное значение сигнала. На шкале таких приборов указывается действующее значение конкретного сигнала, а именно гармонического. Найти величину действующего значения напряжения по показаниям вольтметра, реагирующего на его амплитудное или средневыпрямленное значение и проградуированного в действующих значениях синусоиды, оказывается возможным благодаря тому, что между параметрами сигнала существует связь через коэффициенты амплитуды и формы

$$K_a = U_m / U_d; \quad K_\phi = U_d / U_{св}.$$

Численные значения этих коэффициентов для сигналов разной формы различны.

В настоящем разделе используются три периодических сигнала: гармонический, меандр, однополярные прямоугольные импульсы длительностью τ с периодом следования T . Значения коэффициентов амплитуды и формы для этих сигналов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Значения коэффициентов амплитуды и формы

Вид сигнала	K_a	K_ϕ
Гармонический	1,41	1,11
Меандр	1,0	1,0
Прямоугольные импульсы	$\sqrt{T/\tau}$	$\sqrt{T/\tau}$

Если данные сигналы подать на вольтметры с преобразователями переменного тока в постоянный ток или напряжение, то показания этих приборов будут различными: они определяются типом преобразователя и градуировкой шкалы.

Прибор с преобразователем действующего значения будет показывать действующее значение сигнала любой формы. Вольтметр с преобразователем средневыпрямленного значения должен показывать средневыпрямленное значение, однако, так как при градуировке на шкале указали действующее значение синусоиды, то показания прибора

$$U_{\Pi} = 1,11 U_{ср}.$$

Вольтметр с амплитудным преобразователем и закрытым входом измеряет амплитуду переменной составляющей сигнала, однако, поскольку прибор был отградуирован в действующих значениях синусоиды, то его показания определяются по формуле

$$U = (U_m - U_0) / 1,41,$$

где $U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$ – постоянная составляющая сигнала, определяемая как первый член разложения функции сигнала в ряд Фурье.

Задание 5. Определить показания нижеперечисленных приборов, на которые поочередно подаются сигналы с одинаковой амплитудой, но различной формы:

- 1) вольтметр с преобразователем действующего значения (квадратичный детектор);
- 2) вольтметр с преобразователем средневыпрямленного значения (линейный детектор);
- 3) вольтметр с амплитудным преобразователем и конденсатором, включенным последовательно (амплитудный детектор с закрытым входом).

Все приборы отградуированы в действующих значениях синусоидального сигнала. Сигналы, которые следует подать, имеют одинаковую амплитуду $U_m = 10 \cdot N$, [В], где N – номер варианта. Рассматриваются три типа сигналов:

- 1) гармонический сигнал;
- 2) меандр;
- 3) однополярные прямоугольные импульсы длительностью $\tau = 10 \cdot N$, мкс и частотой следования 5000 Гц.

При расчете показаний следует иметь в виду, что в импульсном напряжении (сигнал 3) присутствует постоянная составляющая, которая может быть определена как среднее значение сигнала.

Порядок решения: используя коэффициенты амплитуды и формы из таблицы, найти среднее, средневыпрямленное и действующее значения для каждого сигнала, и только после этого, используя формулы перерасчета показаний вольтметров, определить, что покажет каждый прибор при измерении напряжения 1, 2, 3.

6.5 Методические указания к выполнению контрольной работы

Задание 1. Дана выборка экспериментальных данных $U_i = \{7,551; 7,562; 7,549; 7,538; 7,525; 7,555; 7,545; 7,545; 7,555; 7,525\}$, В; $P_d = 0,5$.

Среднеарифметическое значение ряда измерений

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n};$$

$$\bar{X} = \frac{\sum (7,551 + 7,562 + 7,549 + 7,538 + 7,525 + 7,555 + 7,545 + 7,545 + 7,555 + 7,525)}{10};$$

$$\bar{X} = \frac{75,45}{10} = 7,545 \text{ В.}$$

Среднеквадратичная погрешность измерения

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}};$$

$$S = \sqrt{\frac{0,00139}{9}} = 0,0124.$$

Погрешность среднеарифметического результата ряда измерений

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} = \frac{S}{\sqrt{n}};$$

$$S_{\bar{X}} = \frac{0,0124}{\sqrt{10}} = 0,00392.$$

По таблице нормального закона

$$\bar{X} - \Delta X \leq X \leq \bar{X} + \Delta X;$$

$$7,545 - 0,0027 \leq X \leq 7,545 + 0,0027;$$

$$7,542 \leq X \leq 7,548.$$

По таблице коэффициент Стьюдента $t_{p,n} = 0,7$.

Погрешность измерения

$$\Delta X = S_{\bar{X}} \cdot t_{p,n}$$

$$\Delta X = 0,00392 \cdot 0,7 = 0,00275 \text{ В.}$$

Результат измерения определяем выражением:

$$X = \bar{X} \pm \Delta X, P = \dots, n = \dots$$

$$X = 7,545 \pm 0,00275 \text{ В}; P = 0,5, n = 10.$$

Задание 2. Даны границы интервала в процентном отношении $\varepsilon_1 = -0,1$, $\varepsilon_2 = 0$.

Для нахождения ΔX воспользуемся пропорцией:

$$\begin{cases} \bar{X} = 100 \% \\ X = \varepsilon_1 \end{cases}; \quad \begin{cases} 07,545 = 100 \% \\ X = -0,1 \% \end{cases}.$$

$$\Delta X_1 = \frac{7,545 \cdot (-0,1)}{100} = -0,00755;$$

$$\Delta X_2 = \frac{7,545 \cdot (0)}{100} = 0.$$

Относительный доверительный интервал для конечного числа измерений n определим по выражению

$$t_{p,n} = \Delta X / S_{\bar{X}} = \Delta X / \left(\sigma / \sqrt{n} \right);$$

$$t_{p,n} = -0,00755 / 0,00392 = -1,926.$$

Задание 3. Дана выборка экспериментальных данных $U_i = \{7,551; 7,562; 7,549; 7,538; 7,525; 7,555; 7,545; 7,545; 7,555; 7,525\}$, B ; $U_k = 10$; $c = 1,1$; $d = 0,05$.

Относительная погрешность

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{U_k}{U_i} \right| - 1 \right) \right];$$

$$\delta_1 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,551} \right| - 1 \right) \right] = 1,11622;$$

$$\delta_2 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,551} \right| - 1 \right) \right] = 1,11612;$$

$$\delta_3 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,549} \right| - 1 \right) \right] = 1,11623;$$

$$\delta_4 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,538} \right| - 1 \right) \right] = 1,11633;$$

$$\delta_5 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,525} \right| - 1 \right) \right] = 1,11645;$$

$$\delta_6 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,555} \right| - 1 \right) \right] = 1,11618;$$

$$\delta_7 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,545} - 1 \right| \right) \right] = 1,11627;$$

$$\delta_8 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,545} - 1 \right| \right) \right] = 1,11627;$$

$$\delta_9 = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,555} - 1 \right| \right) \right] = 1,11618;$$

$$\delta_{10} = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,525} - 1 \right| \right) \right] = 1,11645;$$

$$\delta_{\bar{X}} = \pm \left[1,1 + 0,05 \left(\left| \frac{10}{7,545} - 1 \right| \right) \right] = 1,11627.$$

Абсолютная погрешность

$$\Delta = \frac{\delta(U_i) \cdot \bar{X}}{100 \%},$$

где \bar{X} – найдено в задаче 1.

$$\Delta_1 = \frac{1,11622 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084219 \text{ В};$$

$$\Delta_2 = \frac{1,11612 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084211 \text{ В};$$

$$\Delta_3 = \frac{1,11623 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084222 \text{ В};$$

$$\Delta_4 = \frac{1,11633 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084227 \text{ В};$$

$$\Delta_5 = \frac{1,11645 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084236 \text{ В};$$

$$\Delta_6 = \frac{1,11618 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084216 \text{ В};$$

$$\Delta_7 = \frac{1,11627 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084222 \text{ В};$$

$$\Delta_8 = \frac{1,11627 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084222 \text{ В};$$

$$\Delta_9 = \frac{1,11618 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084216 \text{ В};$$

$$\Delta_{10} = \frac{1,11645 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,084236 \text{ В}.$$

В математическом пакете MathCAD необходимо построить графики распределения относительной и абсолютной погрешностей.

Задание 4. Дано $c = 1,1$; $d = 0,05$; $U_k = 10 \text{ В}$. Определить доверительный интервал с учетом инструментальной погрешности.

Средняя относительная погрешность

$$\bar{\delta} = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{U_k}{X} \right| - 1 \right) \right];$$

$$\bar{\delta} = \pm \left[0,05 + 1,1 \left(\left| \frac{10}{7,545} \right| - 1 \right) \right] = 0,408.$$

Абсолютная максимальная погрешность

$$\Delta = \frac{\bar{\delta} \cdot \bar{X}}{100 \%};$$

$$\Delta = \frac{0,408 \cdot 7,545}{100 \%} = 0,03.$$

Среднеквадратичное значение погрешности

$$\sigma(\Delta) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}};$$

$$\sigma(\Delta) = \frac{0,03}{\sqrt{3}} = 0,017.$$

Суммарная среднеквадратичная погрешность

$$\sigma = \sqrt{\sigma(\Delta)^2 + S_{\bar{X}}^2};$$

$$\sigma = \sqrt{0,017^2 + 0,0039^2} = 0,0174.$$

Безразмерный коэффициент

$$tr_i = \frac{\Delta X + \varepsilon_i}{\sigma(\Delta) + S_{\bar{X}}};$$

$$tr_1 = \frac{0,002745 - 0,00755}{0,017 + 0,0039} = -0,23; \quad tr_2 = \frac{0,002745 + 0}{0,017 + 0,0039} = 0,131.$$

Граничные значения погрешности

$$\Delta r_i = tr_i \cdot \sigma;$$

$$\Delta r_1 = -0,23 \cdot 1,509 = -0,347; \quad \Delta r_2 = 0,131 \cdot 1,509 = 0,198.$$

Границы доверительного интервала

$$X_i = A \pm \Delta r_i;$$

$$X_1 = 7,545 - 0,347; \quad X_2 = 7,545 + 0,198.$$

Задание 5. Дано $U_m = 10 \cdot N$, где N – номер варианта.

Для гармонического сигнала

$$U_m = 10 \cdot 10 = 100 \text{ В};$$

$$K_a = 1,41; \quad K_\phi = 1,11.$$

Действующее значение

$$U_d = \frac{U_m}{K_a};$$

$$U_d = \frac{100}{1,41} = 70,922 \text{ В}.$$

Среднее значение

$$U_{CP} = \frac{U_d}{K_\phi};$$

$$U_{CP} = \frac{70,922}{1,11} = 63,894 \text{ В}.$$

Средневыпрямленное значение

$$U_{CP.B} = \frac{(U_m - U_0)}{K_a};$$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt;$$

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin(t) dt = \frac{1}{2\pi} (-\cos(t)) \Big|_0^{2\pi} = -\frac{1}{2\pi} (\cos(2\pi) - \cos(0)) = 0 \text{ В};$$

$$U_{CP.B} = \frac{100 - 0}{1,41} = 70,922 \text{ В}.$$

Показание прибора

$$U_{II} = 1,11 \cdot U_{CP.B};$$

$$U_{II} = 1,11 \cdot 70,922 = 78,723 \text{ В}.$$

Для сигнала прямоугольной формы (меандр) $U_m = 100 \text{ В}$.

$$K_a = 1,0; K_\phi = 1,0; T = 2\tau.$$

Действующее значение

$$U_d = \frac{100}{1,0} = 100 \text{ В}.$$

Среднее значение

$$U_{cp} = \frac{100}{1,0} = 100 \text{ В}.$$

Средневыпрямленное значение

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt;$$

$$\begin{aligned} U_0 &= \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m dt + \frac{1}{T} \int_{T/2}^T -U_m dt = \frac{1}{T} U_m t \Big|_0^{T/2} + (-U_m) t \Big|_{T/2}^T = \\ &= -\frac{1}{T} \left(U_m \cdot \frac{T}{2} - 0 - U_m \cdot T + U_m \cdot \frac{T}{2} \right) = \frac{U_m}{2} - U_m + \frac{U_m}{2} = 0 \text{ В}. \end{aligned}$$

$$U_{cp.B} = \frac{100 - 0}{1,41} = 70,922 \text{ В}.$$

Показание прибора

$$U_{II} = 1,11 \cdot 70,922 = 78,723 \text{ В}.$$

Для однополярного прямоугольного импульса $U_m = 100 \text{ В}$.

$$\tau = 10 \cdot N; \tau = 10 \cdot 10 = 100 \text{ мкс}; f = 5000 \text{ Гц};$$

$$T = \frac{1}{f}; \quad T = \frac{1}{5000} = 0,2 \text{ мс};$$

$$t_{II} = \frac{T}{N+3}; \quad t_{II} = \frac{0,0002}{10+3} = 15 \text{ мкс};$$

$$Q = \frac{T}{t_{II}}; \quad Q = \frac{0,0002}{0,000015} = 13,3;$$

$$K_a = K_\phi = \sqrt{Q}; K_a = K_\phi = \sqrt{13,3} = 3,65.$$

Действующее значение

$$U_d = \frac{100}{3,65} = 27,42 \text{ В}.$$

Среднее значение

$$U_{cp} = \frac{27,42}{3,65} = 7,519 \text{ В}.$$

Средневыпрямленное значение

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt;$$

$$U_0 = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t-\tau} 0 dt + \int_{t-\tau}^T U_m dt \right) = \frac{1}{T} (U_m \cdot T - U_m \cdot (T - \tau)) = \frac{U_m \tau}{T};$$

$$U_0 = \frac{100 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{0,0002} = 50 \text{ В.}$$

$$U_{\text{ср.в}} = \frac{100 - 50}{1,41} = 35,461 \text{ В.}$$

Показание прибора

$$U_{\text{п}} = 1,11 \cdot 35,461 = 39,362 \text{ В.}$$

7 ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1) Понятие «физическая величина», ее измерения. Классификация физических величин (аналоговые, дискретные, активные, пассивные).

2) Принципы построения систем единиц физических величин. Основные, производные единицы и их размерности.

3) Система единиц физических величин СИ, ее отличительные особенности. Основные и дополнительные, кратные и дольные единицы.

4) Виды измерений – прямые, косвенные, совместные, совокупные.

5) Методы измерений – непосредственной оценки, метод сравнения (разновидности, достоинства, недостатки).

6) Понятие погрешности измерения. Погрешность систематическая, случайная, промахи; абсолютная, относительная. Пояснить на примерах.

7) Классификация погрешностей измерения в зависимости от причин возникновения: инструментальная, методическая, субъективная и др. Привести примеры.

8) Погрешности средств измерений: классификация и способы математического выражения. Пояснить на примерах.

9) Нормирование погрешности средств измерений. Аддитивная и мультипликативная составляющие. Класс точности.

10) Систематические погрешности измерения и способы их уменьшения.

11) Гистограммы и кривые распределения случайных величин, плотность распределения. Генеральная совокупность, выборка.

12) Распределение случайных погрешностей измерения. Вероятность, плотность распределения вероятностей. Нормальный закон распределения Гаусса.

13) Доверительный интервал и доверительная вероятность. Правило трех сигм.

14) Коэффициент Стьюдента. Алгоритм обработки результатов ряда равноточных измерений.

15) Полная погрешность измерения и ее составляющие. Случаи сочетания погрешностей.

16) Полная погрешность измерения и ее составляющие. Случаи суммирования систематической и случайной погрешностей.

17) Среднеквадратичная погрешность нескольких серий измерений.

18) Законы сложения случайных погрешностей.

19) Погрешность косвенных измерений.

20) Методическая погрешность при измерении постоянных токов и напряжений.

21) Конструкция аналогового электромеханического измерительного прибора: механизмы для создания вращающего и противодействующего момента, шкалы, стрелки, успокоители.

22) Магнитоэлектрические измерительные приборы: принцип действия, устройство, область применения, метрологические характеристики.

23) Электродинамические измерительные приборы: принцип действия, устройство, область применения, метрологические характеристики.

24) Электромагнитные измерительные приборы: принцип действия, устройство, область применения, метрологические характеристики.

25) Электростатические измерительные приборы: принцип действия, устройство, область применения, метрологические характеристики.

26) Логометры. Рассмотреть на примере магнитоэлектрического логометра.

27) Масштабные измерительные преобразователи. Какими параметрами характеризуются шунты, делители напряжения? Где применяются.

28) Измерительные трансформаторы: устройство, принцип действия, метрологические характеристики, область применения.

29) Цифровые измерительные приборы и преобразователи.

30) Методы измерения постоянного тока.

31) Методы измерения постоянного напряжения.

32) Методы измерения переменного тока и напряжения.

33) Методы измерения электрической мощности.

34) Методы измерения сопротивления.

35) Методы измерения индуктивности, добротности, емкости и тангенса угла потерь.

36) Резонансные методы измерения параметров цепей.

37) Исследование формы и параметров сигнала: структурная схема универсального осциллографа.

38) Исследование формы и параметров сигнала: виды разверток в осциллографе.

39) Исследование формы и параметров сигнала: электронно-лучевая трубка (характеристики, конструкция).

40) Исследование формы и параметров сигнала: классификация осциллографов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная дисциплина «Метрология и технические измерения» насыщена терминами, понятиями и методами из разных научных и технических областей: математики, физики, теории электрических цепей, электродинамики, микроэлектроники и вычислительной техники. В данном курсе все эти термины, понятия и методы создают взаимосвязанное образование и должны рассматриваться как единое целое в рамках современного научного подхода.

Для студентов данная дисциплина может служить практическим руководством при выполнении курсовых проектов и ВКР, связанных с разработкой средств измерений или измерительных систем, которые требуют выполнения их метрологической экспертизы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Афанасьев, А. А. Физические основы измерений : учебник для вузов / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин, А. Г. Схиртладзе. – М. : Академия, 2010. – 239 с.
- 2 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах : учебник для вузов / В. И. Нефёдов, В. И. Хахин, Е. В. Федорова [и др.] ; под ред. В. И. Нефёдова. – М. : Высш. шк., 2001. – 383 с.
- 3 Пустовая, О. А. Электрические измерения : учеб. пособие для вузов / О. А. Пустовая. – Ростов н/Д. : Феникс, 2010. – 247 с.
- 4 Сергеев, А. Г. Метрология : учеб. пособие для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Крохалёв – М. : Логос, 2000. – 408 с.
- 5 Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы : учебник для вузов / В. Ю. Шишмарев. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2012. – 384 с.
- 6 Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы : учебник для вузов / В. Ю. Шишмарев. – М. : Академия, 2010. – 384 с.
- 7 Поверка электроизмерительных показывающих приборов : методические указания к лабораторной работе / сост. : С. В. Рудько, Н. Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – 13 с.
- 8 Измерение омических сопротивлений и индуктивностей косвенным методом : методические указания к лабораторной работе / сост. : С. В. Рудько, Н. Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – 12 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Коэффициенты Стьюдента $t_{p, n}$

n	Вероятность												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,997
2	0,16	0,33	0,51	0,73	1,00	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	31,8	63,7	636,6
3	0,14	0,29	0,45	0,62	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	7,0	9,9	31,8
4	0,14	0,28	0,42	0,58	0,77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	4,5	5,8	12,9
5	0,13	0,27	0,41	0,57	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	3,7	4,6	8,6
6	0,13	0,27	0,41	0,56	0,73	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	3,4	4,0	6,9
7	0,13	0,27	0,40	0,55	0,72	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,1	3,7	6,0
8	0,13	0,26	0,40	0,55	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,5	5,4
9	0,13	0,26	0,40	0,54	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,3	2,9	3,4	5,0
10	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	2,8	3,3	4,8
11	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,2	4,6
12	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5
13	0,13	0,26	0,40	0,54	0,70	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	4,3
14	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	2,7	3,0	4,2
15	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	3,0	4,1
16	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,6	2,9	4,0
17	0,13	0,26	0,39	0,54	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
18	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	4,0
19	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,6	2,9	3,9
20	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,9
21	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
22	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
23	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
24	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,8
25	0,13	0,26	0,39	0,53	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
26	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
27	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	2,8	3,7
28	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
29	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,86	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
30	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	2,8	3,7
40	0,13	0,26	0,39	0,53	0,68	0,85	1,1	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,6
60	0,13	0,25	0,39	0,53	0,68	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,7	3,5
120	0,13	0,25	0,39	0,53	0,68	0,85	1,0	1,3	1,7	2,0	2,4	2,6	3,4
>120	0,13	0,25	0,39	0,52	0,67	0,84	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	3,3