



МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Рабочая программа и методические указания
к выполнению контрольной работы
для студентов 3 курса заочного отделения направления подготовки
210300 – Радиотехника



Тамбов
Издательство ТГТУ
2010

УДК 621.37
ББК 32.842
П88

Рекомендовано Редакционно-издательским советом ТГТУ

Рецензент

Доктор технических наук, профессор ТГТУ

Т.И. Чернышова

П88 Метрология и радиоизмерения : рабочая программа и методические указания к выполнению контрольной работы / сост. А.П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 24 с. – 100 экз.

Содержат перечень тем, которые изучаются в курсе «Метрология и радиоизмерения», с распределением лекционных и лабораторных занятий, а также перечень контрольных мероприятий и список рекомендуемой литературы для студентов заочной формы обучения. Приведены домашние контрольные задания, которые выполняются студентами самостоятельно в межсессионный период.

Предназначены для студентов заочного отделения направления подготовки 210300 – Радиотехника.

УДК 621.37
ББК 32.842

© ГОУ ВПО Тамбовский государственный
технический университет (ТГТУ), 2010

Учебное издание

МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Рабочая программа и методические указания

Составитель

ПУДОВКИН Анатолий Петрович

Редактор Е.С. Кузнецова

Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. Зотова

Подписано в печать 22.03.2010

Формат 60 × 84/16. 1,39 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 159

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЁ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Целью изучения дисциплины «Метрология и радиоизмерения» является получение знаний в области метрологического обеспечения, технических измерений и стандартизации применительно к задачам разработки, производства и эксплуатации радиотехнических средств.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- овладение методами и средствами измерения параметров и характеристик цепей, сигналов при разработке, производстве и эксплуатации радиотехнических средств;
- ознакомление с методами обеспечения единства измерений и соответствующей нормативной документацией;
- изучение принципов действия, технических и метрологических характеристик средств измерений;
- изучение современных методов и приобретение навыков обработки результатов измерений, оценки погрешности измерений.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных в результате изучения дисциплин: «Высшая математика», «Физика», «Основы теории цепей», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Цифровые устройства и микропроцессоры», и, в свою очередь, способствует изучению последующих дисциплин радиотехнического цикла.

Дисциплина «Метрология и радиоизмерения» изучается на 3 курсе (5-й семестр). Во время экзаменационной сессии запланировано 8 часов лекций и 6 часов лабораторных занятий. В период между сессиями студенты выполняют и высылают на проверку одну контрольную работу. Итогом изучения дисциплины является сдача студентами экзамена.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Объём (100 ч)

Введение

Предмет и задачи дисциплины. Роль метрологии и измерительной техники в научных разработках и в промышленном производстве. Рекомендации по изучению курса, взаимосвязь с другими дисциплинами, место в системе знаний инженера. Научные, технические, организационные и законодательные основы метрологического обеспечения. Государственная система обеспечения единства измерений. Сертификация, порядок её проведения и правовые основы.

[1, с. 7 – 13, 461 – 475].

Методы и средства измерений

Классификация методов измерений. Средства измерений. Особенности аналоговых и цифровых средств измерений. Микропроцессорные средства измерений и компьютерные измерительные устройства на основе универсальных ПЭВМ. Понятие о мерах, эталонах, образцовых и рабочих средствах измерений. Поверка средств измерений. Поверочные схемы. Понятие о плане измерений и методах его построения.

[1, с. 14 – 63].

Погрешности и их расчёт

Классификация погрешностей: случайные и систематические, методические и инструментальные, статические и динамические. Математическое описание случайной погрешности. Погрешности измерительных преобразователей в цифровой форме.

Метрологические характеристики средств измерений и принципы их нормирования. Нормирование инструментальной погрешности пределом допустимой погрешности. Основная и дополнительная погрешности и способы их представления. Расчёт погрешности измерений с учётом методической погрешности при разных способах её задания.

Нормирование погрешностей средств измерений статистическими методами.

Расчёт погрешности косвенных измерений по погрешностям прямых измерений.

[1, с. 65 – 102].

Статистическая обработка результатов измерений

Идентификация формы закона распределения погрешностей, исключение грубых погрешностей. Оценка изменения математического ожидания погрешности за время измерений.

Принцип максимального правдоподобия, оценки максимального правдоподобия и их свойства. Методика обработки результатов измерений с многократными наблюдениями. Точечные и интервальные оценки измеряемой величины.

Способы уменьшения погрешностей: итерационный, образцовых сигналов, коммутационно-модуляционного инвертирования, методы аддитивной и мультипликативной коррекции. Учёт неисключённых систематических погрешностей.

[1, с. 104 – 136].

Методы и средства формирования измерительных сигналов

Назначение и классификация измерительных генераторов. Структурные схемы и основные параметры измерительных генераторов. Нормируемые метрологические характеристики.

Генераторы гармонических сигналов. Низкочастотные, высокочастотные генераторы. Синтезаторы частоты. Импульсные генераторы и генераторы сигналов специальной формы. Генераторы шума. Микропроцессорные генераторы сигналов, структурные схемы, основные характеристики.

[1, с. 215 – 243].

Исследование колебаний во временной и в частотной областях

Принцип действия универсального осциллографа, структурная схема. Классификация осциллографов. Влияние АЧХ тракта вертикального отклонения и ЭЛТ на точность воспроизведения формы сигнала на экране. Цифровые и вычислительные осциллографы, их структура и особенности. Способы построения быстродействующих АЦП, использование устройств выборки и хранения. Способы построения быстродействующих АЦП, использование устройств выборки и хранения. Погрешности измерений амплитудных и временных параметров методом калиброванных шкал.

Стробоскопический осциллограф, его основные характеристики. Принцип действия и устройство преобразователя и стробоскопической развёртки. Скоростные осциллографы.

Методы анализа колебаний в частотной области. Метод фильтрации, гетеродинный анализатор спектра последовательного анализа, структурная схема.

Спектральный анализ с помощью дискретного преобразования Фурье, особенности и основные характеристики цифровых спектроанализаторов. Дисперсионно-временной метод спектрального анализа.

Измерения параметров сигналов с амплитудной и угловой модуляцией. Методы измерений нелинейных искажений. Измерение параметров сложных сигналов. Методы и особенности измерений параметров и характеристик случайных сигналов и шумов.

[1, с. 137 – 174, 224 – 269, 330 – 348].

Методы измерений временных параметров сигналов

Методы измерений временных интервалов и периода повторения. Цифровой метод. Микропроцессорные средства измерений. Анализ погрешностей, обусловленных дискретизацией, нестабильностью уровней формирования, шумами. Методы уменьшения погрешности дискретизации: нониусный, интерполяционный с линейно изменяющимся напряжением. Повышение точности на основе метода Монте-Карло. Цифровой метод измерений средней частоты, косвенные измерения частоты по периоду повторения как метод уменьшения погрешности дискретизации. Микропроцессорные измерители частоты и периода повторения. Переносчики частоты.

Аналоговые методы измерений частоты путём её сравнения с образцовой частотой.

Измерения разности фаз. Фазовые соотношения при преобразовании и умножении частоты. Измерения путём преобразования разности фаз во временной интервал и в напряжение. Микропроцессорные фазометры. Особенности фазометров со стробоскопическим преобразованием. Метод сравнения.

[1, с. 273 – 311].

Методы измерений энергетических параметров сигналов

Методы измерений постоянного и переменного напряжений и токов. Структурные схемы вольтметров. Преобразователи пикового, средневыпрямленного и среднеквадратического значений. Использование отрицательной обратной связи для стабилизации характеристик преобразователей. Особенности работы преобразователей при импульсном сигнале. Интегральный метод измерения параметров импульсов.

Цифровые вольтметры постоянного напряжения: времяимпульсного преобразования, интегрирующий, с многократным зарядом и разрядом интегрирующего конденсатора, с преобразованием напряжения в частоту. Цифровые мультиметры.

Методы измерений мощности. Погрешности из-за неполного согласования источника и нагрузки с линией передачи. Тепловые методы: калориметрический, термоэлектрический, термисторный. Мостовые ваттметры, методы термокомпенсации.

[1, с. 176 – 212, 312 – 329].

Методы измерений и контроля параметров и характеристик цепей

Эквивалентные схемы элементов радиоэлектронных цепей с сосредоточенными постоянными и их параметры. Измерение параметров элементов путём их преобразования в напряжение. Особенности построения измерительных приборов. Методы на основе мостов постоянного и переменного тока, принцип действия, погрешности. Трансформаторные мосты. Резонансные методы измерения сопротивления, ёмкости, индуктивности и добротности. Микропроцессорные измерители параметров элементов цепей. Методы и средства измерений амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик радиотехнических цепей. Структурные схемы измерительных приборов, источники погрешностей.

Методы измерений параметров и характеристик цепей с распределёнными постоянными в установившемся и в переходном режимах. Измерительная линия и её использование для измерений параметров нагрузки. Калибровка детектора.

Измерение элементов матрицы рассеяния метода калибруемого двенадцатиполюсника. Датчики полных сопротивлений. Импульсный рефлектометр.

Тестирование цифровых устройств. Логический анализ, анализаторы логических состояний, сигнатурный анализ. Понятие самотестирования.

[1, с. 352 – 385].

Автоматизация радиоэлектронных измерений. Информационно-измерительные системы

Модульный принцип объединения средств измерений в систему. Место ЭВМ и микропроцессоров в информационно-измерительных системах. Компьютерные измерительные приборы. Разновидности измерительных интерфейсов. Приборный интерфейс МЭК (КОП) и особенности его применения.

Автоматизированные средства технического контроля при производстве радиоэлектронной аппаратуры, в том числе бытовой.

Перспективы и основные направления развития автоматизации радиоэлектронных измерений.

[1, с. 409 – 427].

2.2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИЙ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ (8 ч)

| Темы лекций | Объём, ч |
|---|----------|
| 1. Погрешности и их расчёт | 2 |
| 2. Методы и средства формирования измерительных сигналов | 2 |
| 3. Исследование колебаний во временной и в частотной областях | 2 |
| 4. Методы измерений временных параметров сигналов | 2 |

2.3. ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ (6 ч)

| Темы лабораторных занятий | Объём, ч |
|---|----------|
| 1. Исследование основных метрологических характеристик электромеханических измерительных приборов | 2 |
| 2. Прямые, косвенные и совместные измерения | 1 |
| 3. Измерение частоты, периода и фазы электрических сигналов | 2 |
| 4. Измерение параметров сигналов в электронных схемах | 1 |

2.4. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА И ЕЁ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Контрольная работа по дисциплине «Метрология и радиоизмерения» включает в себя выполнение трёх заданий. (Срок сдачи – декабрь)

2.5. КОНТРОЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Теоретические коллоквиумы по лабораторным работам.
Экзамен.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Метрология и радиоизмерения / В.И. Нефёдов, В.И. Хахин, В.К. Битюков и др. ; под ред. профессора В.И. Нефёдова. – М. : Высшая школа, 2006. – 526 с.
2. Дворяшин, Б.В. Метрология и радиоизмерения : учебное пособие / Б.В. Дворяшин. – М. : Академия, 2005. – 526 с.
3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи / под ред. Б.П. Хромого. – М. : Радио и связь, 1986. – 424 с.

4. Шишкин, Н.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством : учебник для вузов / Н.Ф. Шишкин ; под ред. акад. Соломенко. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 342 с.
5. Кушнир, Ф.В. Электрорадиоизмерения / Ф.В. Кушнир. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
6. Винокуров, В.И. Электрорадиоизмерения / В.И. Винокуров, С.И. Каплин, И.Г. Петелин. – М. : Высшая школа, 1986. – 351 с.
7. Мирский, Г.Я. Электронные измерения / Г.Я. Мирский. – М. : Радио и связь, 1986. – 440 с.

3.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

8. Зограф, И.А. Оценка погрешностей результатов измерений / И.А. Зограф, П.Ф. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
9. Кукуш, В.Д. Электрорадиоизмерения / В.Д. Кукуш. – М. : Радио и связь, 1985. – 368 с.
10. Атамалян, Э.Г. Приборы и методы измерений электрических величин / Э.Г. Атамалян. – М. : Высшая школа, 1986. – 384 с.
11. Основы метрологии и электрические измерения / под ред. Душина. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
12. Методы электрических измерений / Л.Г. Журавин и др. ; под ред. Э.И. Цветкова. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
13. Попов, В.С. Измерения среднеквадратического значения напряжения / В.С. Попов, И.Н. Желбаков. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 118 с.
14. Грязнов, М.И. Измерения параметров импульсов / М.И. Грязнов, М.Л. Гуревич, Ю.А. Рябинин. – М. : Радио и связь, 1991. – 216 с.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Метрология и радиоизмерения» относится к числу общетехнических дисциплин в учебном плане специальности 210303 – Бытовая радиоэлектронная аппаратура, направления 210300 – Радиотехника.

Дисциплина охватывает основные вопросы метрологии и метрологического обеспечения, особенности построения и использования типовых средств радиоизмерений, а также вопросы стандартизации и сертификации в области радиотехники.

Основной формой освоения студентами дисциплины является самостоятельная работа с рекомендуемым основным и дополнительным учебным материалом.

Учебным планом обучения студентов заочной формы по дисциплине «Метрология и радиоизмерения» предусмотрено проведение лекционных занятий в объёме восьми часов, выполнение контрольной работы и лабораторных работ.

Введение

Предметом дисциплины «Метрология и радиоизмерения» является изучение основ метрологии и метрологического обеспечения, стандартизации и сертификации в области радиотехники, а также вопросов построения и использования типовых средств радиоизмерений.

Цель дисциплины – подготовка будущего инженера-радиотехника к решению производственных задач на базе знания основ метрологии, стандартизации, сертификации и радиоизмерений с тем, чтобы, используя полученные знания и навыки, студент мог грамотно решать организационные, научные и технические задачи при проведении измерений.

Настоящая дисциплина является базой для изучения последующих дисциплин радиотехнического цикла.

Стандарты ГСИ являются нормативной базой метрологического обеспечения, под которым понимается установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Необходимо знать основные задачи стандартизации в области метрологического обеспечения, структуру нормативных документов ГСИ и её связь с другими системами стандартов, а также сеть государственных метрологических органов и их деятельность.

Необходимо иметь представление о государственном и ведомственном надзорах.

Методы и средства измерений

Следует знать, что под единством измерений понимается такое их состояние, при котором обеспечивается достоверность измерений, а значения измеряемых величин выражаются в узаконенных единицах.

Размеры единиц могут воспроизводиться там же, где выполняются измерения, либо информация о них должна передаваться с места их централизованного хранения и воспроизведения (децентрализованное и централизованное воспроизведение единиц).

Далее необходимо понять назначение эталонов и их классификацию, а также методы передачи информации о размерах единиц (непосредственного сличения, сличения с помощью компаратора и др.) и назначение поверочных схем (государственных, ведомственных и локальных).

В этом разделе также изучаются и основные теоретические вопросы метрологии.

Внимание следует уделить основному постулату метрологии.

Необходимо знать, что в метрологии широко используется математический аппарат теории вероятностей, что определяет знание свойств законов распределения вероятностей, являющихся моделями эмпирических законов распределения, получаемых из экспериментальных данных методами математической статистики.

Следует уяснить, что во многих случаях описание отсчёта или результата измерений с помощью законов распределения вероятностей является хотя и наиболее полным, но неудобным. Поэтому во многих случаях ограничиваются приближённым описанием закона распределения вероятности с помощью его числовых характеристик. Все они представляют собой некоторые средние значения (математическое ожидание отсчёта, дисперсия, третий и четвёртый центральные моменты).

Далее следует понять, что при получении отсчёта во внимание должно приниматься еще множество факторов, учёт которых представляет иногда довольно сложную задачу. Исключение влияющих факторов производится с помощью различных способов (замещения, компенсации, противопоставления и др.).

Если же измерение не удаётся организовать так, чтобы исключить или скомпенсировать влияющие факторы, то в показание средств измерений следует вносить поправки.

Часто в метрологии встречаются ситуации, когда по какой-либо причине не хватает нужной количественной информации. Для математического описания таких ситуаций используются ситуационные модели.

При многократном измерении одной и той же величины постоянного размера ошибки проявляются в том, что результаты отдельных измерений заметно отличаются от остальных. Рассеяние результата измерений в подобном случае нередко бывает следствием множества причин. Студент должен понимать центральную предельную теорему теории вероятностей. Если условия этой теоремы выполняются, то весь массив экспериментальных данных при многократном измерении одной и той же величины постоянного размера должен группироваться около некоторого среднего значения.

Важными являются понятия «проверка средств измерений» и «метрологическая надёжность средств измерений».

Погрешности и их расчёт

Целью любых измерений является получение результата, т.е. оценки истинного значения физической величины. Однако, какими бы точными и совершенными ни были средства и методы измерений и как бы тщательно измерения ни выполнялись, их результат всегда отличается от истинного значения измеряемой физической величины, т.е. находится с некоторой погрешностью. Погрешности появляются из-за несовершенства применяемых методов и средств измерений, непостоянства влияющих на результат измерения физических величин и индивидуальных особенностей экспериментатора. Кроме того, на точность измерений влияют внешние и внутренние помехи, климатические условия и порог чувствительности измерительного прибора.

Оценивая погрешности измерения, следует понимать, что уровень точности, к которому необходимо стремиться, должен определяться критериями технической и экономической целесообразности. В метрологии установлено, что увеличение точности измерения вдвое удорожает само измерение в два-три раза. В то же время снижение точности измерения в производстве ниже удельной нормы приводит к появлению существенного брака изделий. При установлении точности измерений важно также учитывать их значимость. В одних случаях недостаточная точность получаемой измерительной информации имеет небольшое или локальное значение, в других – играет исключительно важную роль: от точности измерения могут зависеть как здоровье и жизнь людей, так и научное открытие.

Если прямое измерение физической величины проведено один раз – так называемое однократное прямое измерение, то результатом измерения является непосредственное показание средства измерения. При этом за погрешность результата измерения часто принимают погрешность средства измерения.

В случае многократных наблюдений результат измерения и его погрешность находят различными методами статистической обработки всех выполненных наблюдений.

Измерение можно считать законченным, если не только найден результат измерения, но и проведена оценка его погрешности.

Статистическая обработка результатов измерений

Главной задачей любых измерений является извлечение с заданной точностью и достоверностью количественной информации о физических величинах, тех или иных свойствах реальных физических объектов, закономерностях протекающих процессов и т.д. Поскольку измерения практически всегда сопровождаются появлением случайных погрешностей, то обработка результатов измерений должна включать в себя операции над случайными процессами или случайными величинами. Эти операции выполняются с помощью методов теории вероятностей и математической статистики. Статистическая обработка результатов измерений – обработка измерительной информации с целью получения достоверных данных. Разнообразие задач, решаемых с помощью измерений, определяет и разнообразие видов статистической обработки их результатов.

Задача статистической обработки результатов многократных измерений заключается в нахождении оценки измеряемой величины и доверительного интервала, в котором находится её истинное значение. Перед проведением обработки результатов измерений необходимо удостовериться в том, что данные из обрабатываемой выборки измерений статистически контролируются, группируются вокруг одного и того же центра и имеют одинаковую дисперсию.

Статистическая обработка используется для повышения точности измерений с многократными наблюдениями, а также определения статистических характеристик случайной погрешности. Вместе с тем из результатов измерений нельзя полностью исключить и систематические погрешности измерений. И поскольку всегда остаются их неисключённые остатки – неисключённые систематические погрешности, то с точки зрения уменьшения этих составляющих статистическая обработка результатов измерений также необходима.

Для прямых однократных измерений статистическая обработка менее сложна и громоздка, что значительно упрощает оценку погрешностей. В производственных условиях точность таких измерений обычно оказывается неприемлемой. Вместе с тем практически всегда необходимо провести оценку их результатов.

Если в результатах наблюдений одно или два существенно отличаются от остальных, а наличия ошибки в снятии показаний, описки и других промахов не обнаружено, то необходимо проверить, не являются ли они грубыми погрешностями, подлежащими исключению.

В технических исследованиях часто используют косвенные измерения. Статистическую обработку результатов косвенных измерений производят, как правило, методами, основанными на раздельной обработке аргументов и их погрешностей, и методом линеаризации.

Совместные и совокупные измерения характеризуются тем, что значения искоемых величин рассчитывают по системе уравнений, связывающих их с некоторыми другими величинами, определяемыми посредством прямых или косвенных измерений. При этом измеряются несколько комбинаций значений указанных величин. Наиболее распространённые совместные измерения обрабатываются разными статистическими методами. Среди них широко известен и часто применяется метод наименьших квадратов.

Методы и средства формирования измерительных сигналов

При исследованиях, испытаниях, измерениях параметров или характеристик различных радиотехнических схем, устройств и систем требуются источники испытательных и реальных сигналов самых разнообразных форм, частот и мощностей. Подавая эти сигналы в исследуемую аппаратуру, измеряют ряд параметров электрических колебаний, применяя источник в качестве меры (частота гармонического колебания, период следования импульсов, коэффициент модуляции); снимают амплитудно-частотные и переходные характеристики цепей, а также определяют коэффициент шума различных устройств; градуируют или тестируют измерительные приборы; запитывают измерительные линии при определении коэффициентов бегущей и стоячей волны, коэффициентов отражения и полных сопротивлений нагрузки СВЧ-устройств. Такие источники различных колебаний называют измерительными генераторами сигналов.

Следует знать нормируемые метрологические характеристики измерительных генераторов и особенности их построения.

Исследование колебаний во временной и в частотной областях

Электрические колебания (сигналы) можно определить как во временной области, так и в частотной. Во временной области электрическое колебание прежде всего характеризуется его формой – зависимостью мгновенного значения от времени.

Наглядное, или визуальное, воспроизведение формы колебаний является важной задачей радиотехнических измерений, поскольку форма позволяет сразу оценить многие параметры колебаний. Одним из основных приборов, служащих для визуального наблюдения и исследования формы электрических сигналов, является осциллограф.

Большинство современных осциллографов, находящихся в эксплуатации, оснащены электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ), и их называют электронно-лучевыми осциллографами. Вместе с тем в последних разработках осциллографов в качестве отображающих устройств применяются матричные индикаторные панели (газоразрядные, плазменные, жидкокристаллические, твердотельные и т.д.).

Электронно-лучевой осциллограф – измерительный прибор для визуального наблюдения в прямоугольной системе координат электрических сигналов и измерения их параметров. С помощью осциллографа можно наблюдать периодические непрерывные и импульсные сигналы, непериодические и случайные сигналы, одиночные импульсы и оценивать их параметры. Чаще всего с помощью осциллографа наблюдают зависимость напряжения от времени, причём, как правило, осью времени является ось абсцисс, а по оси ординат откладывается уровень сигнала. По изображениям, получаемым на экране осциллографа, могут быть измерены амплитуда, частота и фазовый сдвиг, параметры модулированных сигналов, временные интервалы и ряд других параметров. На базе осциллографа созданы приборы для исследования переходных, частотных и амплитудных характеристик различных радиотехнических устройств.

Для многих целей разработаны и используются различные типы электронно-лучевых осциллографов: универсальные, скоростные, стробоскопические, запоминающие и специальные.

Следует знать нормируемые метрологические характеристики приборов этой группы.

Методы измерений временных параметров сигналов

Измерение частоты и интервалов времени, а также хранение и воспроизведение их единиц лежат в основе многочисленных измерительных задач, решаемых в современной радиотехнике. Техническая аппаратура для частотно-

временных измерений образует единый комплекс приборов и средств, обеспечивающий возможность проведения измерений с непосредственной их привязкой к Государственному эталону частоты и времени. Последнее определяет принципиально высокую точность измерений.

Приборы этой группы являются самыми важными в радиоизмерительной практике. Следует знать особенности их применения при решении измерительной задачи: получении временной характеристики исследуемого сигнала, информации об амплитудах и частотах составляющих, о коэффициенте амплитудной модуляции, о девиации частоты.

В настоящее время существует много принципов измерения частоты (конденсаторный, резонансный, гетеродинный, последовательного счёта, осциллографический), что определяет структурные схемы этих средств измерений.

Особое значение имеют стандарты частоты и времени, применяемые как меры этих величин.

В радиотехнике обычно измеряется фазовый сдвиг между двумя периодическими сигналами одной частоты.

Следует уяснить принципы построения аналоговых и цифровых фазометров, что определяет структурные схемы этих средств измерений, и знать их нормируемые метрологические характеристики. Также следует знать особенности осциллографических способов измерения фазового сдвига.

Методы измерений энергетических параметров сигналов

В радиотехнике мощность измеряют в области низких и высоких частот, в том числе в области СВЧ, что определяет разнообразие принципов построения этих средств измерения.

Как физическая величина электрическая мощность определяется работой, совершаемой источником электромагнитного поля, в единицу времени. Размерность электрической мощности записывается следующим образом: джоуль/с = ватт.

Измерение мощности в различных частотных диапазонах имеет определённые особенности. Измерители электрической мощности промышленной частоты наряду со счётчиками энергии являются основой действующей системы учёта потребления электрической энергии в народном хозяйстве. Измерение мощности на постоянном токе, а также в диапазоне звуковых и высоких частот имеет ограниченное значение, поскольку на частотах до нескольких десятков мегагерц часто удобнее измерять напряжения, токи и фазовые сдвиги, а мощность определять расчётным путём. На частотах свыше 300 МГц вследствие волнового характера процессов значения напряжения и токов теряют однозначность, и результаты измерений начинают зависеть от места подключения прибора. Вместе с тем поток мощности через любое поперечное сечение линии передачи всегда остаётся неизменным. По этой причине основным параметром, характеризующим режим работы устройства СВЧ, становится мощность.

Следует привести структурные схемы и перечислить нормируемые метрологические характеристики типовых средств измерений мощности.

Методы измерений и контроля параметров и характеристик цепей

Электрические цепи представляют совокупность соединённых определённым образом источников электрической энергии и нагрузок, по которым протекает постоянный или переменный ток различной частоты (включая токи СВЧ). С точки зрения соотношения размеров цепей и рабочей длины волны электрических колебаний, имеющих в них место, различают цепи с сосредоточенными и распределёнными параметрами (постоянными). Методы измерения параметров элементов электрических цепей с сосредоточенными и распределёнными параметрами существенно различаются.

В радиотехнике приходится измерять следующие параметры элементов цепей: сопротивление электрическому току, индуктивность, ёмкость, добротность, тангенс угла потерь.

Следует знать, что наиболее распространённые средства измерений этих величин представляют собой универсальные мосты. Также для решения некоторых измерительных задач могут быть применены другие методы.

При исследовании амплитудно-частотных характеристик радиотехнических устройств применяются измерители АЧХ.

Автоматизация радиоэлектронных измерений. Информационно-измерительные системы

Развитие научных исследований, разработка новых устройств и систем с использованием современных радиотехнологий, усложнение их производства, а также повышение требований к точности измерений и их быстродействию привели к необходимости измерять и контролировать одновременно от сотен до нескольких тысяч личных физических величин. Естественная физиологическая ограниченность возможностей человека в восприятии и обработке таких больших объёмов измерительной информации стала главной причиной появления автоматизированных средств измерений и контроля.

Автоматизация процесса измерений даёт значительный выигрыш во времени и в большинстве случаев значительно повышает точность измерений.

Современные средства радиоизмерений в основном являются цифровыми и поэтому достигли достаточно высокого уровня развития и имеют наивысшие точности. Именно переход к построению цифровых средств измерений привёл к созданию автоматизированных средств измерения.

По уровню автоматизации все средства измерений делятся на три основные группы:

1. Неавтоматические, позволяющие непосредственно оператору провести измерения.
2. Автоматизированные, способные провести в автоматическом режиме одну или часть измерительной операции.

3. Автоматические, производящие в автоматическом режиме измерения и все операции, связанные с обработкой их результатов, регистрацией, передачей, хранением данных и выработкой управляющих сигналов.

В настоящее время всё большее распространение получают автоматизированные и автоматические средства измерений. Это связано с широким использованием в средствах измерений электронной, микропроцессорной и компьютерной техники. Все эти средства часто называют обобщённым термином «автоматизированные средства измерений». К автоматизированным средствам измерений относят автономные многофункциональные цифровые приборы на основе микропроцессоров и измерительные системы.

5. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

При изучении курса «Метрология и радиоизмерения» студентам необходимо выполнить одну контрольную работу, которая включает в себя выполнение трёх заданий. При подготовке к выполнению контрольной работы необходимо ознакомиться с соответствующими разделами теоретического материала по рекомендованной литературе. Контрольная работа выполняется на листах формата А4.

Вариант заданий определяется преподавателем на установочной сессии. Решению каждой задачи должен предшествовать полный текст задачи с числовыми данными. Задачи следует решать в общем виде, подробно, с пояснениями и ссылками. При выборе исходных формул необходимы ссылки на литературу с указанием страницы, где приведена формула. Числовые данные подставляются в окончательную формулу. В полученных результатах обязательно указывается размерность величин.

Выполненная контрольная работа сдаётся на рецензирование. Исправления в работе производятся так, чтобы рецензент мог сопоставить первоначальный и новый варианты.

Задание 1. В табл. 1 приведены 100 независимых числовых значений результата измерений постоянного тока (в амперах).

Определить ток, если с вероятностью P точность измерений должна быть не ниже $2\epsilon_0$.

Значения P и $2\epsilon_0$ приведены в табл. 2.

Свои исходные данные из табл. 1 студент находит, начиная с цифры, расположенной на пересечении столбца, соответствующего последней цифре шифра, и строки, соответствующей предпоследней цифре шифра, после чего использует все последующие цифры столбца с переходом на следующий столбец.

Считать, что результат измерений тока подчиняется нормальному закону распределения вероятности.

Таблица 1

| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 1,21 | 1,25 | 1,24 | 1,24 | 1,23 | 1,24 | 1,23 | 1,24 | 1,23 | 1,23 |
| 1 | 1,22 | 1,23 | 1,21 | 1,22 | 1,25 | 1,24 | 1,22 | 1,25 | 1,23 | 1,25 |
| 2 | 1,21 | 1,23 | 1,20 | 1,21 | 1,22 | 1,26 | 1,27 | 1,24 | 1,24 | 1,24 |
| 3 | 1,20 | 1,22 | 1,21 | 1,23 | 1,25 | 1,26 | 1,26 | 1,23 | 1,27 | 1,23 |
| 4 | 1,23 | 1,23 | 1,24 | 1,25 | 1,24 | 1,22 | 1,25 | 1,23 | 1,26 | 1,23 |
| 5 | 1,25 | 1,26 | 1,25 | 1,20 | 1,26 | 1,23 | 1,25 | 1,25 | 1,24 | 1,25 |
| 6 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,21 | 1,24 | 1,22 | 1,26 | 1,24 | 1,23 | 1,24 |
| 7 | 1,24 | 1,24 | 1,24 | 1,23 | 1,25 | 1,23 | 1,27 | 1,27 | 1,22 | 1,24 |
| 8 | 1,23 | 1,24 | 1,22 | 1,22 | 1,26 | 1,24 | 1,24 | 1,26 | 1,21 | 1,25 |
| 9 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,20 | 1,22 | 1,23 | 1,23 | 1,21 | 1,23 |

Таблица 2

| Данные | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|---|---|------|------|---|---|-----|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| P | 0,97 | | | 0,95 | | | | 0,9 | | |
| $2\varepsilon_0, A$ | 0,04 | | | | 0,02 | | | | | |

Указание. Для обеспечения требуемой точности при многократном измерении следует применять алгоритм расчёта, приведённый в [1, с. 71 – 90]; [4, с. 116].

Взяв первые 10 числовых значений результата измерений, рассчитать оценку среднего значения и стандартного отклонения показаний, что позволит проверить ряд на наличие ошибок.

Расчёт половины доверительного интервала ε позволит сравнить её с ε_0 , что даёт возможность сделать вывод о возможной необходимости увеличения количества экспериментальных данных, после чего следует повторить расчёты, используя методику, приведённую в [1, с. 71 – 90]; [4, с. 116].

Наращивание количества экспериментальных данных следует продолжать до обеспечения требуемой точности.

Порядок расчёта.

1. Определить среднее арифметическое результата измерения:

$$\tilde{x} = \tilde{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i, \text{ где } n = 10.$$

2. Определить стандартное отклонение результата измерения:

$$\tilde{\sigma} = S_I = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \tilde{I})^2}.$$

3. Проверить, отличается ли больше чем на $3\tilde{\sigma} = 3S_I$ хоть одно из числовых значений результата измерений от среднего арифметического. Если не отличается ни одно из числовых значений, то следует признать, что ошибок нет.

4. Определить стандартное отклонение среднего арифметического:

$$\tilde{\sigma}_{\text{ср}} = S_{\tilde{I}} = \frac{S_I}{\sqrt{n}}.$$

5. Найти при $n = 10$ и заданном значении P коэффициент Стьюдента t (табл. 3).

6. Рассчитать половину доверительного интервала:

$$\Delta_{\Gamma} = \varepsilon = t S_{\tilde{I}},$$

после чего сравнить полученное значение ε с заданным.

Если $\varepsilon > \varepsilon_0$, то необходимо увеличить количество экспериментальных данных и повторить все вышеприведённые расчёты для $n = 11$.

7. В результате подобных расчётов следует установить, сколько числовых значений результата измерения потребовалось получить для того, чтобы с заданной вероятностью P установить, что измеряемый ток находится в интервале:

$$\tilde{I} - \varepsilon \leq I \leq \tilde{I} + \varepsilon \text{ (A)}.$$

3. Значение коэффициентов Стьюдента t в зависимости от доверительной вероятности P и числа измерений n

| n | Доверительная вероятность P | | | | | |
|----------|-------------------------------|------|------|------|------|-------|
| | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,98 | 0,99 | 0,999 |
| 4 | 1,64 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 | 12,94 |
| 5 | 1,53 | 2,13 | 2,78 | 3,75 | 4,60 | 8,61 |
| 6 | 1,48 | 2,02 | 2,57 | 3,37 | 4,03 | 6,86 |
| 7 | 1,44 | 1,94 | 2,45 | 3,14 | 3,71 | 5,96 |
| 8 | 1,42 | 1,90 | 2,37 | 3,00 | 3,50 | 5,41 |
| 9 | 1,40 | 1,86 | 2,31 | 2,90 | 3,36 | 5,04 |
| 10 | 1,38 | 1,83 | 2,26 | 2,82 | 3,25 | 4,78 |
| 11 | 1,37 | 1,81 | 2,23 | 2,76 | 3,17 | 4,59 |
| 12 | 1,36 | 1,80 | 2,20 | 2,72 | 3,11 | 4,44 |
| 13 | 1,36 | 1,78 | 2,18 | 2,68 | 3,06 | 4,32 |
| 14 | 1,35 | 1,77 | 2,16 | 2,65 | 3,01 | 4,22 |
| 15 | 1,35 | 1,76 | 2,15 | 2,62 | 2,98 | 4,14 |
| 16 | 1,34 | 1,75 | 2,13 | 2,60 | 2,95 | 4,07 |
| 17 | 1,34 | 1,75 | 2,12 | 2,58 | 2,92 | 4,02 |
| 18 | 1,33 | 1,74 | 2,11 | 2,57 | 2,90 | 3,97 |
| 19 | 1,33 | 1,73 | 2,10 | 2,55 | 2,88 | 3,92 |
| 20 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,54 | 2,86 | 3,88 |
| 21 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,53 | 2,85 | 3,85 |
| 22 | 1,32 | 1,72 | 2,08 | 2,52 | 2,83 | 3,82 |
| 23 | 1,32 | 1,72 | 2,07 | 2,51 | 2,82 | 3,79 |
| 24 | 1,32 | 1,71 | 2,07 | 2,50 | 2,81 | 3,77 |
| 25 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,49 | 2,80 | 3,75 |
| 26 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,49 | 2,79 | 3,73 |
| 27 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,78 | 3,71 |
| 28 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,47 | 2,77 | 3,69 |
| 29 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,47 | 2,76 | 3,67 |
| 30 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,46 | 2,76 | 3,66 |
| 31 | 1,31 | 1,70 | 2,04 | 2,46 | 2,75 | 3,65 |
| 40 | 1,30 | 1,68 | 2,02 | 2,42 | 2,70 | 3,55 |
| 60 | 1,30 | 1,67 | 2,00 | 2,39 | 2,66 | 3,46 |
| 120 | 1,29 | 1,66 | 1,98 | 2,36 | 2,62 | 3,37 |
| ∞ | 1,28 | 1,65 | 1,96 | 2,33 | 2,58 | 3,29 |

Задание 2. Отсчётное устройство амперметра с заданными пределами и классом точности показывает значение тока i . Определить измеряемую силу тока. Значения предела измерения тока I_k и значения тока i приведены в табл. 4.

Указание. Пользуясь обозначениями классов точности амперметров, с учётом используемых пределов измерений и полученных показаний амперметров определить максимально допускаемые относительные отклонения показания амперметра от измеряемого тока согласно [1, с. 95 – 99].

Обозначения классов точности и формулы для расчёта основной погрешности средств измерения приведены в табл. 5.

Таблица 4

| Данные | Последняя цифра шифра | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----|-----|---------|---------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Класс точности | 2,5/1,5 | 1,0 | 1,5 | 0,5/0,1 | 0,5/0,1 | 4,0 | 1,0 | 2,5/1,5 | 2,5 | 4,0 |
| I , мА | 100 | | 120 | | 200 | | 300 | | 500 | |
| i , мА | 55 | 86 | 28 | 76 | 85 | 140 | 110 | 240 | 450 | 300 |

Таблица 5

| Формула выражения основной погрешности | Пределы допускаемой основной погрешности | Обозначение класса точности | |
|--|--|-----------------------------|------------|
| | | в документации | на приборе |
| Абсолютная $\Delta = \pm a$; $\Delta = \pm (a + bx)$ | $\pm a$; $\pm (a + bx)$ | L M | L M |
| Приведённая $\gamma = \Delta 100\%/X_N = \pm p$ | $\gamma = \pm 1,5$ | 1,5 | 1,5 |
| Относительная $\delta = \Delta 100\%/x = \pm q$ | $\delta = \pm 0,5$ | 0,5 | 0,5 |
| Относительная $\delta = \pm \left[c + d \left(\left \frac{X_k}{x} \right - 1 \right) \right]$ | $\delta = \pm 0,02/0,01$ | $c/d = 0,02/0,01$ | 0,02/0,01 |

Задание 3. Электронно-лучевой осциллограф имеет следующие положения переключателя коэффициентов развёртки K_p «мкс/дел.», определяющего масштаб по горизонтали:

$$K_p = (1; 2; 5; 10; 20; 50) 10^{-6} \text{ с}; (0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50) 10^{-3} \text{ с}$$

и (0,1; 0,2; 0,5) с.

Экран осциллографа по горизонтали имеет $d = 10$ делений.

1. Выбрать положение переключателя коэффициента развёртки «мкс/дел.», при котором на экране будут получены N периодов исследуемого периодического сигнала с частотой F .

Форма сигнала, частота F сигнала и число периодов N указаны в табл. 6, где форма сигнала: С – синусоидальная, М – меандр, П – пилообразная, О – однополярные прямоугольные импульсы со скважностью 3.

2. Нарисовать осциллограмму, которая получится на экране осциллографа в режиме линейной непрерывной развёртки с учётом выбранного положения переключателя K_p , считая, что время обратного хода напряжения развёртки составляет $k\%$ от периода развёртки (рассмотреть, что будет получаться в каждом из нескольких последовательных периодов развёртки) [1, с. 244 – 272].

3. Указать, как получится устойчивое изображение на экране осциллографа.

Указание. Следует изобразить временной график исследуемого сигнала в координатах $u = f_1(t)$, указав масштаб по оси времени. Период исследуемого сигнала определяется по формуле:

$$T = 1/F, \text{ мкс.}$$

Таблица 6

| Параметр | Последняя цифра шифра | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----|------|-----|------|-----|------|------|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| F , кГц | 200 | 250 | 1000 | 100 | 20,0 | 5,0 | 50,0 | 0,05 | 0,1 | 1,0 |
| Число периодов N | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | | | | |
| k , % | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 |
| Форма сигнала | С | М | П | О | С | М | П | О | С | М |

Требуемый коэффициент развёртки определяется по формуле:

$$K_{p.треб} \geq N T/d, \text{ мкс/дел.}$$

Следует выбрать из имеющихся значений коэффициент развёртки, удовлетворяющий этому требованию. Далее необходимо уточнить длительность прямого хода $T_{пр}$ напряжения линейной непрерывной развёртки:

$$T_{пр} = K_p d.$$

Эту величину следует отложить по оси времени на временном графике напряжения линейной непрерывной развёртки $u_x = f_2(t)$, который помещается ниже графика $u = f_1(t)$.

Поскольку реальное напряжение линейной непрерывной развёртки имеет длительность $T_{обр}$ обратного хода, то период развёртки имеет две составляющие:

$$T_x = T_{пр} + T_{обр}.$$

$T_{обр}$ можно определить, решив систему уравнений:

$$\begin{cases} T_{обр} = kT_x, \\ T_x = T_{пр} + T_{обр}. \end{cases}$$

Полученное значение $T_{обр}$ следует отложить по оси времени графика $u_x = f_2(t)$, после чего изобразить на этом графике второй период развёртки.

Та часть исследуемого сигнала, которая приходится на время прямого хода напряжения развёртки, будет видна на экране осциллографа. На время $T_{обр}$ трубка закрывается, и эта часть исследуемого сигнала не видна. Таким образом, изображение на экране осциллографа будет представлять несколько отрезков сигналов синусоидальной формы, наложенных друг на друга.

Устойчивое изображение на экране осциллографа получится только при соблюдении условия:

$$T_x = mT,$$

где m – целое число.