

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра метрологии и стандартизации

МЕТРОЛОГИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Рабочая программа. Методические указания.
Контрольные задания

для студентов специальности
1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»
заочной формы обучения

Минск БГУИР 2009

УДК 006.91(075.8)
ББК 30.10 я73
М54

С о с т а в и т е л ь
М. Ю. Дерябина

М54 **Метрология** и физические основы измерений : рабочая программа. Метод. указания. Контр. задания для студ. спец. 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности» заоч. формы обуч. / сост. М. Ю. Дерябина. – Минск : БГУИР, 2009. – 39 с. : ил.

В издании приведена рабочая программа дисциплины, даны методические указания по ее изучению, представлены варианты заданий для контрольных работ.

УДК 006.91(075.8)
ББК 30.10 я73

© Дерябина М. Ю., составление, 2009
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Метрология как область практической деятельности связана со всеми сферами трудовых отношений: торговлей, производством, добычей природных ресурсов, наукой. Предметной областью метрологии являются измерения – экспериментальные процедуры, направленные на получение новой информации о свойствах объектов окружающего нас мира, процессов, услуг и т.д. Измерения являются самыми массовыми повторяющимися процедурами, без которых немислима деятельность в области современной радиоэлектроники, связи, информатики, а высокое качество результатов измерений приобретает особую практическую значимость.

Теоретической основой измерений является метрология. Это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Дисциплина «Метрология и физические основы измерений» систематизирует и углубляет полученные ранее знания, умения и навыки и создает фундамент для завершения этой подготовки на последующих этапах обучения. Она обеспечивает базовую подготовку инженеров по техническому обеспечению безопасности в области метрологии и измерений, которая должна непрерывно действовать во время всего периода обучения.

Целью преподавания дисциплины является формирование у студентов знаний в области метрологии и электрорадиоизмерений и умений и навыков применения полученных знаний для совершенствования качественных показателей продукции.

Основные задачи изучения настоящей дисциплины определяются требованиями к подготовке инженеров по безопасности, вытекающими из ее роли в системе непрерывной подготовки студентов, а также из типовой программы дисциплины.

В результате изучения дисциплины «Метрология и физические основы измерений» студенты должны

ЗНАТЬ:

- основы теории погрешностей;
- принципы государственной системы обеспечения единства измерений;
- методы получения и обработки измерительной информации;
- основные принципы, методы и средства измерений электрических величин в широком диапазоне частот и широких пределах значений измеряемых величин;
- типы современных электро- и радиоизмерительных приборов.

УМЕТЬ:

- применять методы и средства измерений при решении конкретной измерительной задачи;
- технически и метрологически правильно выбирать методы измерения и соответствующую измерительную аппаратуру;

- выполнять измерения с минимальным количеством систематических погрешностей;
- оценивать точность и оформлять результаты измерений в соответствии с действующей нормативной документацией;
- интерпретировать полученные результаты измерений с точки зрения обеспечения единства измерений и качества услуг и продукции.

ИМЕТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ:

- об эталонах единиц электрических величин и о государственной системе обеспечения единства измерений на их основе;
- о нормативных документах, регламентирующих порядок обработки результатов измерений;
- о правилах эксплуатации средств измерений;
- об электрорадиоизмерительной аппаратуре пятого поколения, разрабатываемой в настоящее время на основе достижений современной электроники и вычислительной техники.

Дисциплина «Метрология и физические основы измерений» тесно связана с другими дисциплинами специальности «Техническое обеспечение безопасности».

Материал программы дисциплины базируется на знаниях высшей математики, физики, теории электрических и радиотехнических цепей и сигналов.

Знания по метрологии и измерениям должны эффективно использоваться и пополняться студентами при изучении специальных и профилирующих дисциплин, при курсовом и дипломном проектировании.

В соответствии с учебным планом дисциплины предусмотрено 6 часов лекционных занятий, решение контрольной работы, 4 часа практических занятий, лабораторные работы общим объемом 12 часов.

Изучение дисциплины завершается сдачей экзамена, к которому студенты допускаются только при условии успешного выполнения и защиты контрольной работы и трех четырехчасовых лабораторных работ.

Основной формой изучения дисциплины является самостоятельная работа с рекомендованной литературой. Материал дисциплины следует изучать по темам и в порядке, установленном в данной программе.

Рекомендуется изучать дисциплину в следующем порядке:

- 1) проработать теоретический материал по указанной в конце каждой темы литературе, уделив основное внимание сущности изучаемого вопроса и методике вывода искомых математических выражений;
- 2) изучить обобщенную структурную схему соответствующего измерительного прибора, связав назначение и особенности всех основных элементов с полученными математическими выражениями;
- 3) изучить конкретные виды измерительных приборов и устройство и назначение их основных функциональных узлов. Особое внимание следует уделить определению основных и дополнительных погрешностей измерительных приборов, их составляющих, а также влиянию на их величину по-

грешностей параметров элементов, входящих в состав измерительного прибора, и путям возможного уменьшения указанных погрешностей.

До полного усвоения предыдущих тем не рекомендуется приступать к изучению новой темы. Качество усвоения материала следует проверять путем ответов на контрольные вопросы для самопроверки, помещенные в конце каждой темы. При затруднениях необходимо повторно проработать соответствующий материал. После полной проработки темы следует решить соответствующие задачи контрольного задания.

При изучении материала рекомендуется составлять краткий конспект, фиксируя в нем основные сведения по изучаемой теме. Составление полноценного конспекта способствует качественному усвоению материала дисциплины и позволяет в краткий срок восстановить в памяти основные положения и вопросы дисциплины, не прибегая к повторному просмотру учебников.

ЛИТЕРАТУРА

1 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / под ред. В. И. Нефедова. – М. : Высш. шк., 2001. – 383 с.

2 Метрология, стандартизация и измерения в технике связи : учеб. пособие для вузов / под ред. Б. П. Хромого. – М. : Радио и связь, 1986. – 423 с.

3 Елизаров, А. С. Электрорадиоизмерения / А. С. Елизаров. – Минск : Высш. шк., 1986. – 320 с.

4 Ревин, В. Т. Преобразование и преобразователи измерительной информации : учеб. пособие. В 5 ч. Ч. 1 / В. Т. Ревин. – Минск : БГУИР, 2002. – 69 с.

5 Ревин, В. Т. Преобразование и преобразователи измерительной информации : учеб. пособие. В 5 ч. Ч. 2 / В. Т. Ревин. – Минск : БГУИР, 2003. – 102 с.

6 Дерябина, М. Ю. Основы измерений: учеб. пособие / М. Ю. Дерябина. – Минск : БГУИР, 2001. – 57 с.

7 Кириллов, В. И. Метрологическое обеспечение : учеб. пособие. В 4 ч. Ч.1 / В. И. Кириллов. – Минск : БГУИР, 2003 – 87 с.

8 МИ 1317-86 МУ ГСИ «Результаты и характеристики погрешности измерения. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров».

1 РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ИЗУЧЕНИЮ

Раздел 1 ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Тема 1.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРЕНИЯХ

Введение. Роль измерений в науке, технике и других сферах деятельности. Задачи и содержание дисциплины, ее значение в профессиональной подготовке инженеров по телекоммуникациям. Рекомендуемая литература.

Основные термины в области метрологии: метрология, физические величины и их единицы; виды, принципы и методы измерений; средства измерений и их общая характеристика, погрешности измерений и средств измерений и их классификация.

[1, с. 13–45, 48–53; 3, с. 10–11; 7, с. 1–24]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы ознакомьтесь с историей развития метрологии, измерительных приборов и их применением в различных областях науки, техники, промышленности, уделив внимание опережающему характеру развития метрологии и измерительной техники.

Следует разобраться в стандартной терминологии, применяемой в данной дисциплине, четко уяснить однозначность толкования понятий и определений.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Перечислите основные задачи метрологии во всех областях науки и техники. 2 Дайте определения основным понятиям в области метрологии: метрология; измерение, основные виды и методы измерений; погрешность измерения, ее виды и составляющие; формы выражения погрешностей; точность измерений; средства измерений и их классификация.

Тема 1.2 СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

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

[3, с. 17–20; 7, с. 24–29]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении темы следует обратить внимание на источники возникновения систематических погрешностей, способы их обнаружения, идентификации, исключения и учета. Разобраться в алгоритме суммирования неисключенных остатков систематических погрешностей.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Перечислите основные классификационные признаки систематических погрешностей. 2 Перечислите основные источники возникновения систематических погрешностей. 3 Перечислите способы обнаружения, исключения и оценки систематических погрешностей. 4 Перечислите способы уменьшения систематических погрешностей. 5 Приведите алгоритм суммирования неисключенных остатков систематических погрешностей.

Тема 1.3 СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Математическое описание случайных погрешностей измерений и их вероятностные характеристики. Точечная и интервальная оценки случайных погрешностей измерений. Обработка результатов многократных наблюдений при прямых и косвенных измерениях. Критерии грубых и ничтожных погрешностей. Оценка суммарной погрешности результата измерения. Оценка погрешности измерения с однократными наблюдениями. Показатели точности и формы представления результатов измерений. Особенности обработки результатов измерений и оценки погрешностей с помощью ПЭВМ.

[1, с. 53–55; 3, с. 20–26; 7, с. 30–37]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении темы следует ознакомиться с математическим аппаратом, применяемым для статистической обработки результатов наблюдений, с элементами теории вероятностей и математической статистики, смыслом основных понятий (математическое ожидание, среднее арифметическое, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, доверительный интервал). Изучить алгоритмы оценки прямых многократных, косвенных измерений, а также обратить внимание на особенности оценки погрешностей однократных наблюдений. Разобраться в правилах округления результатов измерений и погрешностей; изучить формы представления результатов измерений в соответствии с МИ 1317-86.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Случайные погрешности измерений. Оценка случайных погрешностей прямых неравноточных измерений. 2 Случайные погрешности измерений. Оценка случайных погрешностей косвенных измерений. 3 Критерии грубых и ничтожных погрешностей. 4 Обработка результатов многократных наблюдений при прямых измерениях. 5 Обработка результатов многократных наблюдений при косвенных измерениях. 6 Оценка результирующей погрешности измерений при наличии неисключенной систематической погрешности. 7 Оценка погрешностей измерений с однократными наблюдениями. 8 Характеристики погрешностей и формы представления результатов измерений.

Тема 1.4 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Основные положения и понятия метрологического обеспечения. Национальная система обеспечения единства измерений. Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений». Метрологическая служба Республики Беларусь, ее структура и основные задачи. Международные организации по метрологии.

Эталоны единиц физических величин. Передача размера единиц физических величин. Поверочные схемы.

[7, с. 8–23, 30–37, 72–76]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо обратить особое внимание на структуру службы метрологического обеспечения Республики Беларусь, ее структурные единицы, смысл понятий, используемых в данной сфере деятельности (научную, техническую и организационную основы). Изучить систему передачи единиц физических величин и иметь представление об эталонах.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 В чем состоит смысл понятий «единство измерений» и «единообразие средств измерений»? 2 Дайте определение основных терминов, относящихся к области метрологического обеспечения: метрологическое обеспечение, метрологический контроль и метрологический надзор, поверка, калибровка, метрологическая аттестация, метрологическая экспертиза. 3 Какие метрологические подразделения входят в состав метрологической службы Республики Беларусь? 4 Что такое эталон единицы физической величины и каким образом классифицируются эталоны? 5 Каким образом осуществляется передача единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений? Приведите пример поверочной схемы.

Раздел 2 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Тема 2.1 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ

Классификация сигналов. Математическое описание измерительных сигналов. Математические модели сложных измерительных сигналов.

[1, с. 155–171; 3, с. 230–241; 8, с. 221–252]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо изучить классификацию измерительных сигналов по различным признакам в соответствии с ГОСТ 16465-94 «Сигналы радиотехнические. Термины и определения». Ознакомьтесь с математическим описанием постоянных, гармонических, импульсных сигналов, их графическим представлением. Получите представление о математи-

ческих моделях сложных измерительных сигналов и их выражении через простейшие аналитические выражения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Перечислите основные классификационные признаки измерительных сигналов. 2 Что представляют собой аналоговые, дискретные и цифровые сигналы? 3 Чем отличаются постоянные и переменные сигналы? 4 Дайте определение непрерывного во времени и импульсного сигналов. 5 Чем отличаются де-терминированные, квазидетерминированные и случайные сигналы? 6 Что представляет собой математическая модель измерительного сигнала? 7 Запишите математические модели постоянного и гармонического импульсного сигналов.

Тема 2.2 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Основные принципы и методы преобразования измерительной информации. Генераторные измерительные преобразователи (индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические, фотоэлектрические, гальванические преобразователи). Параметрические преобразователи неэлектрических величин в электрические (резистивные, емкостные, индуктивные преобразователи). Масштабные преобразователи. Основные метрологические и технические характеристики измерительных преобразователей.

[5, с. 6–15, 38–47, 51–58, 58–63; 6, с. 6–90]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении материала темы необходимо детально изучить принципы и методы преобразования измерительной информации, основные метрологические и технические характеристики измерительных преобразователей (функцию преобразования, чувствительность, динамический диапазон, порог чувствительности, предел преобразования). Особое внимание уделить изучению конкретных типов параметрических (резистивных, индуктивных и емкостных) и генераторных (индукционных, фотогальванических, сверхпроводниковых, преобразователей Холла, Гаусса, пьезоэлектрических, термоэлектрических) преобразователей. Изучить масштабные преобразователи (шунты и добавочные сопротивления, делители напряжения, измерительные трансформаторы, усилители и аттенюаторы), преобразователи рода тока (выпрямители), модуляторы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Изложите основные принципы и методы преобразования измерительной информации. 2 Перечислите метрологические характеристики измерительных преобразователей. 3 В чем состоит принцип действия резистивных измерительных преобразователей: контактных, реостатных, тензорезистив-

ных, фоторезистивных. 4 Назовите сходство и различие принципа действия болометров и термисторов. 5 В чем состоит принцип действия емкостных измерительных преобразователей? 6 Индуктивные измерительные преобразователи, их конструкция и принцип действия. 7 В чем состоит отличие параметрических и генераторных измерительных преобразователей? 8 Трансформаторные (взаимноиндуктивные) измерительные преобразователи. 9 Поясните принцип Действия индукционных магнитоизмерительных преобразователей. 10 Сверхпроводниковые измерительные преобразователи. 11 Измерительные преобразователи Холла. 12 Преобразователи Гаусса. 13 Пьезоэлектрические измерительные преобразователи. 14 Термоэлектрические измерительные преобразователи. 15 Фотоэлектрические преобразователи. 16 Фотогальванические измерительные преобразователи. 17 Преобразователи сигналов: измерительные мосты. 18 Масштабирование тока и напряжения: шунты и добавочные сопротивления. 19 Масштабирование тока и напряжения: делители напряжения, трансформаторы. 20 Масштабирование тока и напряжения: усилители и аттенюаторы. 21 Поясните сущность модуляции (амплитудной, частотной, фазовой, импульсной).

Раздел 3 ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Тема 3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Классификация средств измерений электрических величин. Измерительные приборы и установки. Структурные элементы и схемы средств измерений. Прямое преобразование. Уравновешивающее преобразование.

[7, с. 16–17]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении темы необходимо ознакомиться с терминологией и классификационными признаками средств измерений. При этом обратить особое внимание на структурные элементы, общие для многих средств измерений, а также уметь выделить в структурных схемах блоки, характерные для конкретного рассматриваемого типа средств измерений.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Перечислите основные требования, предъявляемые к средствам измерений электрических величин. 2 Определите классификационные признаки средства измерений на примере конкретного типа радиоизмерительного прибора (например С1-117, В7-28 и т.д.). 3 Приведите обобщенную структурную схему радиоизмерительного прибора прямого преобразования и поясните назначение каждого ее элемента. 4 В чем состоит принцип действия приборов сравнения? 5 В чем состоят различия в схемах построения приборов прямого преобразования и приборов сравнения; сформулируйте их достоинства и недостатки.

Тема 3.2 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ НОРМИРОВАНИЕ

Основные метрологические характеристики средств измерений. Комплексы нормируемых метрологических характеристик средств измерений. Классы точности средств измерений. Условные обозначения на шкалах измерительных приборов.

[1, с. 84–91; 7, с. 42–47]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Необходимо изучить технические и метрологические характеристики средств измерений, способы нормирования метрологических характеристик, правила присвоения средствам измерений классов точности. Обратит внимание на условные обозначения на шкалах приборов и их смысл.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 В чем состоит различие между техническими и метрологическими характеристиками средства измерений? 2 Дайте определение метрологических характеристик средств измерений. 3 Дайте определение нормированных метрологических характеристик средства измерений и поясните способы их нормирования. 4 Максимальная приведенная погрешность средства измерений равна 0,36 %. Присвойте прибору класс точности.

Тема 3.3 ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

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

Общие сведения об электромеханических приборах и их классификация по способу преобразования электромагнитной энергии в механическую. Магнитоэлектрические приборы: принцип, устройство, область применения и основные характеристики. Расширение пределов измерений.

Измерение тока и напряжения на радиочастотах. Принцип действия, область применения и основные характеристики выпрямительных и термоэлектрических амперметров.

Измерение напряжения электронными аналоговыми вольтметрами. Аналоговые вольтметры прямого преобразования и сравнения. Типовые структурные схемы аналоговых вольтметров.

Измерение напряжения электронными цифровыми вольтметрами. Классификация цифровых вольтметров. Основные узлы цифровых вольтметров.

[1, с. 124–155; 3, с. 60–110]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение данной темы необходимо начать с определения основных параметров тока и напряжения, а также классификации приборов для измерения тока и напряжения в зависимости от измеряемого параметра.

Рассматривать вопросы темы рекомендуется в последовательности их перечисления.

При изучении материала по электромеханическим приборам обратить внимание на способы преобразования электромагнитной энергии в механическую в магнитоэлектрических, электромагнитных и электродинамических измерительных приборах. В результате необходимо иметь представление о способах создания вращающего, противодействующего моментов и момента успокоения, а также о вытекающих из этого основных метрологических и технических характеристиках.

Далее необходимо получить представление о принципе действия, схемах построения и особенностях устройства аналоговых амперметров и вольтметров прямого преобразования. При изучении амперметров и вольтметров переменного тока следует изучить схемы построения детекторов пикового, среднеквадратического и средневыпрямленного значения и иметь четкое представление о принципах их работы. Подробно разобраться с зависимостью показаний вольт-метров от формы кривой измеряемого напряжения, знать смысл понятий «коэффициент амплитуды» и «коэффициент формы» и принцип их использования при определении неизвестных параметров тока и напряжения.

При изучении вопросов измерения напряжения электронными цифровыми вольтметрами необходимо усвоить суть и основные этапы аналого-цифрового преобразования: дискретизацию измеряемого сигнала во времени, квантование по уровню и цифровое кодирование. Далее необходимо изучить основные методы аналого-цифрового преобразования измерительных сигналов: времяимпульсное, частотно-импульсное и кодоимпульсное преобразование – и на основании этого принципы построения структурных схем вольтметров, а также назначение основных узлов (логических элементов, ключей, триггеров, счетчиков, дешифраторов, знаковых индикаторов).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Дайте определения основных измеряемых параметров тока и напряжения. 2 Приведите выражения, связывающие между собой пиковое, среднеквадратическое и средневыпрямленное напряжения. 3 Перечислите возможные способы преобразования электрической энергии в механическую и приведите соответствующие уравнения преобразования. 4 Поясните принцип действия магнитоэлектрического измерительного механизма и приведите уравнение шкалы. 5 Поясните принцип действия электромагнитного измерительного механизма и приведите уравнение шкалы. 6 Поясните принцип действия электродинамического измерительного механизма и приведите уравнение шкалы. 7 Поясните принципы реализации амперметров, вольтметров, ватт-метров и фазометров на основе электромеханического измерительного механизма. 8 Поясните назначение и принцип действия магнитоэлектрического логометра. 9 В чем заключаются основные причины появления методической погрешности при измерении тока и напряжения? Укажите спо-

собы оценки методической погрешности и ее исключения из результата измерения. 10 Каким образом осуществляется расширение пределов измерения тока и напряжения? 11 Поясните принцип действия выпрямительных и термо-электрических амперметров. 12 Приведите структурную схему электронного аналогового вольтметра и поясните назначение основных элементов схемы. 13 Приведите различные варианты реализации схем электронных аналоговых вольтметров переменного тока и перечислите основные их достоинства и недостатки. 14 Как зависят показания вольтметров с различными типами детекторов от формы кривой измеряемого напряжения и градуировки шкалы? 15 Опишите процесс аналого-цифрового преобразования и охарактеризуйте его основные этапы: дискретизацию во времени, квантование по уровню и цифровое кодирование. Приведите эпюры напряжения каждого этапа. 16 Приведите структурную схему и эпюры напряжения вольтметра с времяимпульсным преобразованием и поясните принцип ее действия. 17 Приведите структурную схему и эпюры напряжения вольтметра с частотно-импульсным преобразованием и поясните принцип ее действия. 18 Приведите структурную схему и эпюры напряжения вольтметра с кодоимпульсным преобразованием и поясните принцип ее действия. 19 Каковы основные причины возникновения погрешностей измерения напряжения в аналоговых и цифровых вольтметрах?

Тема 3.4 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ

Измерение параметров двухполюсников. Метод вольтметра-амперметра. Электронные омметры. Измерительные мосты. Резонансный метод измерения. Измерение параметров четырехполюсников. Измерители амплитудно-частотных характеристик.

[1, с. 264 – 274]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении темы необходимо подробно ознакомиться с физическим смыслом измеряемых параметров: сопротивления, емкости, индуктивности, добротности, тангенса угла потерь, а также амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик четырехполюсников. Далее следует перейти к изучению принципов и методов измерения сопротивления электронными омметра-ми прямого преобразования, а также косвенным методам (методу амперметра-вольтметра), проанализировать источники возникновения погрешностей. При изучении методов сравнения необходимо особое внимание обратить на правила построения измерительных мостов, а также конкретных применений эквивалентных схем исследуемых двухполюсников в зависимости от величины добротности и тангенса угла потерь и способов нахождения искомых параметров с использованием уравнения баланса. Изучая резонансные измерители параметров двухполюсников, следует внимательно ознакомиться с принципом измерения и правилами построения измерительной ко-

лебательной системы, а также с источниками погрешностей, возникающих в процессе измерения. Отдельно рассмотреть применение и сущность метода замещения как способа исключения некоторых составляющих погрешностей измерения резонансным методом.

При изучении методов измерения параметров четырехполюсников обратить особое внимание на принцип действия панорамного измерителя параметров четырехполюсников, его структурную схему и источники возникновения погрешностей.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Назовите основные виды двухполюсников и их основные характеристики. 2 Перечислите и поясните методы измерения параметров двухполюсников. 3 Запишите обобщенное условие равновесия мостов и поясните правила построения мостовых схем. 4 Приведите схему и поясните принцип работы мостовых измерителей параметров двухполюсников. 5 Поясните источники погрешностей измерительных мостов постоянного и переменного тока. 6 Что понимают под сходимостью и чувствительностью моста? 7 В чем состоит сущность резонансного метода измерения параметров двухполюсников? 8 Перечислите источники погрешностей резонансного метода. 9 В чем состоит сущность метода замещения для измерения параметров двухполюсников? 10 Перечислите измеряемые параметры пассивных и активных четырехполюсников и дайте им определение. 11 Дайте определение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик четырехполюсников. Поясните их физический смысл. 12 Что представляют собой приборы для панорамного исследования амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик четырехполюсников? 13 Поясните принцип создания частотной оси в панорамных измерителях амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик четырехполюсников.

Тема 3.5 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Классификация приборов для измерения частоты и интервалов времени. Резонансный частотомер. Гетеродинный частотомер. Электронно-счетный частотомер. Измерение частоты, интервалов времени и отношения частот с помощью электронно-счетного частотомера. Методы прямого преобразования и сравнения.

[1, с. 174–191, 3, с. 129–144]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале изучения темы необходимо уяснить физический смысл и математическое выражение основных измеряемых параметров (частота, период сигнала, длительность импульсов). Далее изучить классификацию приборов для измерения частоты и интервалов времени. При этом необходимо иметь

представление о частотном диапазоне, в котором используются данные приборы и методы. Основное внимание следует уделить изучению принципа действия, структурных схем и основных источников погрешностей цифровых частотомеров и измерителей временных интервалов, а также способов расширения их частотных диапазонов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Назовите основные временные и частотные параметры сигналов и дайте им определение. 2 Перечислите методы измерения частоты, укажите отличительные особенности и области применения каждого из них. 3 Приведите структурную схему резонансного частотомера, охарактеризуйте его основные узлы и источники возникновения погрешностей измерения. 4 Приведите структурную схему цифрового частотомера. 5 Поясните принцип работы цифрового частотомера в режиме измерения частоты. 6 Поясните принцип работы цифрового частотомера в режиме измерения временных интервалов. 7 Поясните принцип работы цифрового частотомера в режиме измерения отношения частот.

Тема 3.6 ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Классификация приборов для исследования формы электрических сигналов. Электронно-лучевые осциллографы. Обобщенная структурная схема и основные параметры осциллографа.

Универсальные осциллографы и их основные разновидности: одноканальные, многоканальные и многолучевые, многофункциональные и цифровые осциллографы. Осциллографические измерения.

[1, с. 174–194; 3, с. 160–176, 187–198]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо прежде всего получить представление о способах формирования изображения на экране электронно-лучевой трубки. Далее следует детально изучить обобщенную структурную схему универсального одноканального электронно-лучевого осциллографа и назначение его основных узлов. Затем подробно ознакомиться с видами разверток, применяемых в осциллографах, сущностью синхронизации, а также системой основных параметров каналов осциллографа и источниками возникновения погрешностей измерения. После детального изучения структурной схемы универсального осциллографа перейти к изучению основных разновидностей универсальных осциллографов (многоканальных, многофункциональных), а также получить представление о скоростных, стробоскопических, запоминающих и цифровых осциллографах. Следующим этапом является изучение способов измерения параметров электрических сигналов с помощью осциллографа и автоматизации осциллографических измерений.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Каким образом формируется изображение на экране электронно-лучевой трубки осциллографа? 2 Что собой представляет обобщенная структурная схема универсального осциллографа? Поясните назначение ее основных узлов. 3 Какими параметрами характеризуются каналы горизонтального и вертикального отклонения? 4 Сформулируйте сущность и условие синхронизации. Каким образом осуществляется внешняя, внутренняя синхронизация и синхронизация от сети? 5 Перечислите основные виды разверток, применяемых в осциллографе, и охарактеризуйте каждую из них. 6 Приведите методики измерения напряжения, временных параметров, частоты и фазового сдвига с помощью осциллографа. 7 Поясните принцип действия скоростного и стробоскопического осциллографов. 8 В чем заключаются особенности построения цифровых осциллографов?

Тема 3.7 ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОГО СДВИГА

Осциллографические измерения фазового сдвига. Способ суммы и разности напряжений. Нулевой метод. Преобразование фазового сдвига во временной интервал.

[1, с.216 – 230]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале изучения темы необходимо вспомнить осциллографические методы измерения фазового сдвига, изученные в предыдущем разделе. Далее следует подробно ознакомиться со структурной схемой и принципом действия фазометров, реализующих метод суммы и разности напряжения и источники возникновения погрешностей на различных последовательных этапах преобразования. После этого перейти к изучению нулевого метода измерения фазового сдвига, ознакомлению со структурной схемой метода и различными типами индикаторных устройств, применяемых в данном методе. В заключение необходимо подробно разобраться в методе преобразования фазового сдвига во временной интервал и связанными с этим различными способами измерения данного временного интервала.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Каким образом можно измерить фазовый сдвиг с помощью осциллографа? 2 Приведите структурную схему метода суммы и разности напряжений и изобразите эпюры напряжения на различных этапах преобразования. 3 В чем сущность нулевого метода измерения фазового сдвига? 4 Поясните назначение установочного и измерительного фазовращателей в структурной схеме, реализующей нулевой метод. 5 Приведите структурную схему и эпюры напряжения метода преобразования фазового сдвига во временной интервал. Перечислите источники погрешностей. 6 Сравните изученные методы по точности измерения фазового сдвига и дайте рекомендации по их применению.

Тема 3.8 ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

Общие сведения и классификация методов и приборов для измерения мощности. Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока. Измерение поглощаемой мощности на высоких и сверхвысоких частотах. Тепловые методы. Электронные методы. Измерение проходящей мощности.

[1, с. 233–245; 3, с. 110–129]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале изучения темы необходимо получить представление об основных понятиях (мгновенной, средней, импульсной, полной, активной и реактивной мощности), а также о классификации методов и приборов для измерения мощности, усвоив особенности измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока, а также на СВЧ. Особое внимание следует обратить на принцип преобразования электромагнитной энергии в другие виды энергии с помощью первичных измерительных преобразователей. Далее необходимо изучить измерительные цепи, обеспечивающие дальнейшее преобразование и регистрацию электрических сигналов, содержащих измерительную информацию. В заключение проанализировать источники возникновения погрешностей измерения мощности, а также методы их оценки и исключения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Дайте определения средней, мгновенной, импульсной, полной, активной и реактивной мощности. 2 Перечислите основные источники погрешностей измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока с помощью ваттметра. 3 Какими факторами определяется рабочий диапазон частот ваттметров электромеханического типа? 4 Приведите обобщенные структурные схемы ваттметров поглощаемой и проходящей мощности. В чем заключаются особенности работы данных схем? 5 Поясните особенности термисторного и болометрического методов измерения мощности на СВЧ и укажите основные источники возникновения погрешностей. 6 На основе какого физического явления работают измерители мощности, реализующие метод «горячих» носителей тока? 7 В чем сущность пондеромоторного метода измерения мощности? 8 Поясните принцип действия направленного ответвителя. Какие параметры направленного ответвителя влияют на точность измерения проходящей мощности? 9 На чем основан принцип действия ваттметров проходящей мощности, реализующих метод поглощающей стенки и метод на основе эффекта Холла?

Тема 3.9 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

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

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

Измерительные генераторы импульсов и сигналов специальной формы.
Генераторы шумовых сигналов.
[3, с. 230–241]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо усвоить классификацию, номенклатуру параметров и основные требования, предъявляемые к измерительным генераторам. Далее необходимо изучить обобщенную структурную схему измерительных генераторов и назначение ее функциональных узлов. Остальные вопросы темы целесообразно изучать в порядке их перечисления, обращая основное внимание на отличительные особенности построения измерительных генераторов в зависимости от диапазона рабочих частот, формы и спектра вырабатываемых ими сигналов, области их применения.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Перечислите основные признаки, по которым классифицируются измерительные генераторы. Приведите классификацию измерительных генераторов. 2 Перечислите основные параметры измерительных генераторов и дайте им определение. 3 Приведите обобщенную структурную схему измерительного генератора и поясните назначение ее функциональных узлов. 4 Поясните особенности построения схем низкочастотных, высокочастотных и сверхвысоко-частотных генераторов и укажите их основные особенности. 5 Какие основные принципы положены в основу синтезаторов частоты? Приведите структурные схемы синтезаторов частоты и перечислите их основные характеристики. 6 Перечислите основные способы, положенные в основу построения генераторов качающейся частоты. 7 Поясните особенности построения генераторов импульсов и сигналов специальной формы. 8 Приведите структурную схему генератора шумовых сигналов и укажите ее отличительные особенности по сравнению с обобщенной схемой измерительных генераторов.

Раздел 4 ВЫБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Тема 4.1 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Планирование измерений. Выбор средств измерений. Основные правила измерений.

[6, с. 50–53]

Тема 4.2 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Правила округления значений результата измерений и погрешности. Правила построения графиков. Правила составления протокола эксперимента.

[6, с. 53–57]

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо подробно ознакомиться с этапами подготовки и планирования измерительного эксперимента, методических подходов к выбору средств измерений, а также основными правилами проведения измерений, обеспечивающих минимизацию погрешностей, вносимых при измерении. Далее следует изучить правила построения графических зависимостей, а также способы их аппроксимации элементарными функциями. По нормативным документам (МИ 1317-86) ознакомиться с правилами округления результата измерения и его погрешностей, записи результата. В заключение необходимо составить представление о содержании протокола измерений и об основных данных, которые необходимо в него включать.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1 Перечислите основные этапы подготовки и проведения эксперимента.
- 2 Какими соображениями руководствуются при выборе метода измерения?
- 3 Какими соображениями руководствуются при выборе средства измерений?
- 4 Каковы основные правила проведения измерений?
- 5 Перечислите способы аппроксимации кривых и правила построения графиков.
- 6 Каковы правила округления результата измерения и его погрешности?
- 7 Какие основные данные должен содержать протокол проведения измерений?

3 КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Выполнение контрольных заданий является одной из важнейших частей самостоятельной работы студентов. Оно способствует успешному усвоению материала, приобретению практических навыков подготовки к измерениям, обработке и оформлению результатов, облегчает подготовку к экзамену по дисциплине. Для более детальной проработки вопросов рекомендуется также решить другие задачи, не вошедшие в индивидуальное задание.

3.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Контрольные задания состоят из семи задач и охватывают все темы, предложенные для изучения. Номера задач, подлежащих к включению в индивидуальные задания, задаются при выдаче данных методических указаний. Задачи, решенные не по варианту либо не по заданию, не засчитываются, а работа возвращается студенту без проверки.

Приступать к решению задачи следует только после полной проработки соответствующей и предыдущих тем. Условия должны быть записаны в тетрадях с контрольными решениями полностью. Решения и ответы на поставленные вопросы должны быть обоснованными и по возможности краткими, содержать необходимый иллюстративный материал (схемы, чертежи, графики) и выполняться в строгом соответствии с действующими стандартами.

Задачи следует решать в общем виде и только затем подставлять числовые значения в стандартных единицах физических величин. Недостающие

данные, если это необходимо, следует задавать самим в общем виде или в пределах реальных значений. **Пояснения хода решения задачи приводить обязательно!** Задачи, представленные без пояснений, не будут зачтены. Окончательные результаты измерений должны быть представлены в соответствии МИ 1317-86 с указанием размерности физической величины. Решения задач должны быть закончены четко сформулированными выводами. При решении задач с большим объемом вычислений рекомендуется использовать ПЭВМ. Если при решении задач составлялась программа вычислений, то ее распечатку следует приложить к контрольной работе. При этом следует предусмотреть вывод на печать основных результатов промежуточных и окончательных вычислений, а также дать пояснения к алгоритму и привести основные расчетные соотношения.

Контрольное задание должно выполняться в отдельной тетради, на обложке которой должно быть указано наименование учебной дисциплины (полностью), фамилия и инициалы студента, номер варианта и номер учебной группы.

3.2 ЗАДАЧИ

1 Определить резонансную частоту колебательного контура ($f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$) и доверительные границы ее измерения, если известны емкость конденсатора C и индуктивность катушки L , входящих в колебательный контур (таблица 3.1). Доверительная вероятность $P_d = 0,95$ для четных вариантов и $P_d = 0,99$ для нечетных.

Таблица 3.1

Вариант 1, 11, 21, 31						
L, мГн	14,15	14,15	14,34	14,28	15,61	
C, пФ	24,85	24,82	24,13	24,98	24,15	25,16
Вариант 2, 12, 22, 32						
L, мГн	44,15	44,15	56,34	44,28	45,61	44,13
C, пФ	14,85	15,82	14,13	14,98	14,15	
Вариант 3, 13, 23, 33						
L, мГн	58,55	58,15	58,14	59,98	59,810	58,93
C, пФ	14,85	16,82	14,83	14,80	14,89	
Вариант 4, 14, 24, 34						
L, мГн	44,15	44,15	44,34	44,28	45,61	
C, пФ	87,15	86,82	86,93	87,18	86,75	87,16
Вариант 5, 15, 25, 35						
L, мГн	48,15	48,15	47,84	47,83	48,10	47,76
C, пФ	4,85	5,82	4,13	4,98	4,15	

Продолжение табл. 3.1

Вариант 6, 16, 26, 36						
L, мГн	14,15	14,15	14,34	14,28	15,61	
C, пФ	24,85	24,82	24,13	24,98	24,15	25,16
Вариант 7, 17, 27, 37						
L, мГн	38,35	38,38	38,88	37,16	37,23	38,16
C, пФ	18,85	18,82	18,13	18,98	19,15	
Вариант 8, 18, 28, 38						
L, мГн	48,15	48,15	48,34	49,18	48,10	49,13
C, пФ	84,85	86,82	84,83	84,87	84,28	
Вариант 9, 19, 29, 39						
L, мГн	51,15	52,15	51,98	51,28	51,61	52,13
C, пФ	14,85	14,82	14,13	14,98	14,15	
Вариант 10, 20, 30, 40						
L, мГн	44,15	44,15	44,34	44,28	45,61	44,13
C, пФ	76,85	76,82	77,13	78,56	78,10	

2 Подводимое к нагрузке напряжение измеряется как сумма падений напряжений на частях нагрузки $U=U_1+U_2+U_3$. В результате прямых измерений получены значения напряжений, приведенные в таблице 3.2. Оценить погрешность измерения напряжения U с доверительной вероятностью 0,95 для четных вариантов и 0,99 – для нечетных.

Таблица 3.2

Вариант 1, 11, 21, 31						
$U_1, В$	13,8	14,5	13,3	13,3	16,6	15,8
$U_2, В$	10,4	10,8	10,6	10,4	10,9	10,7
$U_3, В$	8,6	8,4	8,4	8,1	9,0	8,9
Вариант 2, 12, 22, 32						
$U_1, В$	103,8	104,5	103,3	103,3	106,6	105,6
$U_2, В$	18,4	18,8	18,6	18,4	18,9	18,7
$U_3, В$	18,6	18,4	18,4	18,1	19,0	18,7
Вариант 3, 13, 23, 33						
$U_1, В$	83,8	84,5	83,3	83,3	86,6	83,9
$U_2, В$	120,4	120,8	120,6	120,4	120,9	119,6
$U_3, В$	84,6	84,4	84,4	84,1	89,0	87,0
Вариант 4, 14, 24, 34						
$U_1, В$	13,8	14,5	13,3	13,3	14,6	14,9
$U_2, В$	60,4	60,8	60,6	60,4	60,9	61,2
$U_3, В$	85,6	85,4	85,4	85,1	89,0	87,5

Продолжение табл. 3.2

Вариант 5, 15, 25, 35						
U ₁ , В	17,8	17,5	17,3	17,3	16,6	17,4
U ₂ , В	12,4	12,8	12,6	13,4	12,9	13,1
U ₃ , В	8,6	8,4	8,4	8,1	9,0	9,1
Вариант 6, 16, 26, 36						
U ₁ , В	33,8	34,5	33,3	33,3	36,6	38,4
U ₂ , В	10,4	10,8	10,6	10,4	10,9	10,1
U ₃ , В	8,6	8,4	8,4	8,1	9,0	9,1
Вариант 7, 17, 27, 37						
U ₁ , В	11,8	12,5	12,3	12,3	11,6	11,4
U ₂ , В	115,4	115,8	115,6	115,4	115,9	115,1
U ₃ , В	8,6	8,4	8,4	8,1	9,0	9,1
Вариант 8, 18, 28, 38						
U ₁ , В	13,8	14,5	13,3	13,3	16,6	18,4
U ₂ , В	10,4	10,8	10,6	10,4	10,9	10,1
U ₃ , В	97,6	97,4	97,4	98,1	98,0	98,1
Вариант 9, 19, 29, 39						
U ₁ , В	53,8	54,5	53,3	53,3	56,6	58,4
U ₂ , В	1,4	1,8	1,6	1,4	1,9	1,1
U ₃ , В	8,6	8,4	8,4	8,1	9,0	9,1
Вариант 10, 20, 30, 40						
U ₁ , В	93,8	94,5	93,3	93,3	96,6	98,4
U ₂ , В	30,4	30,8	30,6	30,4	30,9	30,1
U ₃ , В	6,6	6,4	6,4	7,1	7,0	7,1

3 Суммарная емкость двух параллельно соединенных конденсаторов измерялась и рассчитывалась по формуле $C=(C_1+C_2)$. Результаты измерения емкостей конденсаторов приведены в таблице 3.3. Оценить результирующую погрешность измерения емкости конденсатора, если частные случайные погрешности некоррелированы, а результаты исправленные и равноточные. Доверительная вероятность равна 0,99 для четных вариантов и 0,95 для нечетных.

Таблица 3.3

Вариант 1, 11, 21, 31					
C ₁ , пФ	1,6	1,8	1,3	1,5	1,4
C ₂ , пФ	24,8	24,8	24,9	24,7	24,6
Вариант 2, 12, 22, 32					
C ₁ , пФ	10,6	10,8	11,3	10,5	10,4
C ₂ , пФ	24,8	24,8	24,9	24,7	24,6

Продолжение табл. 3.3

Вариант 3, 13, 23, 33						
C ₁ , пФ	1,6	1,8	1,3	1,5	1,4	
C ₂ , пФ	14,8	14,8	14,9	14,7	14,6	
Вариант 4, 14, 24, 34						
C ₁ , пФ	18,6	18,8	19,3	18,5		
C ₂ , пФ	24,8	24,8	24,9	24,7	24,6	
Вариант 5, 15, 25,35						
C ₁ , пФ	41,6	41,8	41,3	41,5	41,4	
C ₂ , пФ	44,8	44,8	44,9	44,7		
Вариант 6, 16, 26, 36						
C ₁ , пФ	2,6	2,8	2,3	2,5		
C ₂ , пФ	4,8	4,8	4,9	4,7	4,6	
Вариант 7, 17, 27, 37						
C ₁ , пФ	10,6	10,8	10,3	10,5	10,4	
C ₂ , пФ	44,8	44,8	44,9	44,7	44,6	
Вариант 8, 18, 28, 38						
C ₁ , пФ	9,6	9,8	9,3	9,5	9,8	
C ₂ , пФ	27,8	27,8	27,9	27,7	27,6	
Вариант 9, 19, 29, 39						
C ₁ , пФ	112,6	112,8	112,3	112,5	112,4	
C ₂ , пФ	274,8	274,8	274,9	274,7		
Вариант 10, 20, 30, 40						
C ₁ , пФ	51,6	51,8	51,3	51,5		
C ₂ , пФ	124,8	124,8	124,9	124,7	124,6	

4 Для измерения энергии, потребляемой нагрузкой на постоянном токе за время t , использовались косвенные измерения и выражение $E=U^2t/R$. При этом в результате измерений были получены значения, приведенные в таблице 3.4. Оценить доверительные границы измерения энергии с доверительной вероятностью 0,99 для четных вариантов и 0,95 для нечетных.

Таблица 3.4

Вариант 1, 11, 21, 31							
U, В	15	18	14	16	11	18	
R, Ом	50	51	51	53	55	54	
t, с	148	147	146	139	141	138	144
Вариант 2, 12, 22, 32							
U, В	25	28	34	36	28	28	
R, Ом	150	151	151	153	155	148	145
t, с	17	16	14	13	14	18	

Продолжение табл. 3.4

Вариант 3, 13, 23, 33							
U, В	125	128	134	146	121	138	137
R, Ом	150	151	151	153	155	153	
t, с	14	14	14	13	14	18	
Вариант 4, 14, 24, 314							
U, В	5,6	5,8	5,9	5,7	5,5	5,6	
R, Ом	150	151	151	153	155	158	159
t, с	14	13	15	13	14	14	15
Вариант 5, 15, 25, 35							
U, В	15,6	15,8	15,9	15,7	15,5	15,6	
R, Ом	550	551	551	553	555	558	559
t, с	104	103	105	103	104	104	105
Вариант 6, 16, 26, 36							
U, В	57,6	57,8	57,9	57,7	58,5	58,6	58,1
R, Ом	50	51	51	53	55	58	59
t, с	148	132	151	135	147	146	150
Вариант 7, 17, 27, 37							
U, В	7,6	7,8	7,9	7,7	7,5	7,6	
R, Ом	180	181	181	183	185	188	
t, с	187	184	179	175	180	176	159
Вариант 8, 18, 28, 38							
U, В	5,6	5,8	5,9	5,7	5,5	5,6	
R, Ом	150	151	151	153	155	158	159
t, с	14	13	15	13	14	14	15
Вариант 9, 19, 20, 32							
U, В	57,6	57,8	57,9	57,7	58,5	57,6	58,0
R, Ом	134	133	134	135	131	139	
t, с	148	138	158	138	148	148	158
Вариант 10, 20, 30, 40							
U, В	7,6	7,8	7,9	7,7	8,5	7,6	8,0
R, Ом	14	13	14	15	11	19	17
t, с	48	38	58	38	48	48	58

5 Для измерения мощности, потребляемой нагрузкой на постоянном токе, использовался косвенный метод и выражение $P=U^2/R$. В результате прямых измерений получены следующие значения аргументов, входящих в формулу (таблица 3.5). Коэффициент корреляции $R=0,8$. Оценить результирующую погрешность измерения мощности с доверительной вероятностью 0,95 для четных вариантов и 0,99 для нечетных.

Таблица 3.5

Вариант 1, 11, 21, 31						
R, Ом	450	464	455	412	413	
U, В	30,04	30,68	31,18	30,50	30,78	30,12
Вариант 2, 12, 22, 32						
R, Ом	50	64	55	62	63	58
U, В	30,04	30,68	31,18	30,50	30,78	31,03
Вариант 3, 13, 23, 33						
R, Ом	4500	4640	4950	4129	4013	
U, В	308,8	308,6	310,8	310,5	310,7	310,81
Вариант 4, 14, 24, 34						
R, Ом	40	44	45	42	43	44
U, В	30,4	30,8	31,8	30,0	30,8	30,9
Вариант 5, 15, 25, 35						
R, Ом	45	46	45	41	41	
U, В	70,04	70,68	71,18	70,50	70,78	71,03
Вариант 6, 16, 26, 36						
R, Ом	67	68	67	63	64	68
U, В	320,84	320,68	321,80	320,85	320,78	
Вариант 7, 17, 27, 37						
R, Ом	510	614	555	610	613	616
U, В	130,04	130,68	131,18	130,50	130,78	
Вариант 8, 18, 28, 38						
R, Ом	450	464	455	412	413	448
U, В	30,04	30,68	31,18	30,50	30,78	32,16
Вариант 9, 19, 29, 39						
R, Ом	450	464	450	429	445	
U, В	430,84	430,68	431,80	430,85	430,78	430,81
Вариант 10, 20, 30, 40						
R, Ом	850	864	855	812	813	840
U, В	330,04	330,68	331,18	330,50	330,78	331,89

6 Емкость конденсатора измеряется методом замещения и рассчитывается по формуле $C = C_1 - C_2$. Емкости C_1 и C_2 получены в результате прямых измерений и приведены в таблице 3.6. Коэффициент корреляции $R = 0,9$. Оценить погрешность измерения емкости конденсатора C с доверительной вероятностью 0,95 для четных вариантов и 0,99 для нечетных.

Таблица 3.6

Вариант 1, 11, 21, 31							
С ₁ , пФ	48,0	48,0	51,6	48,7	48,1	48,9	48,9
С ₂ , пФ	28,0	28,0	28,4	28,2	28,5	28,9	28,4
Вариант 2, 12, 22, 32							
С ₁ , пФ	48,0	48,0	51,6	48,7	48,1	48,9	
С ₂ , пФ	218,0	218,0	218,4	218,2	218,5	218,9	218,4
Вариант 3, 14, 24, 34							
С ₁ , пФ	428,0	428,0	581,6	428,7	428,1	428,9	428,9
С ₂ , пФ	28,0	28,0	28,4	28,2	28,5	28,9	
Вариант 4, 14, 24, 34							
С ₁ , пФ	248,0	248,0	251,6	248,7	248,1	248,9	248,9
С ₂ , пФ	428,0	428,0	428,4	428,2	428,5	428,9	428,4
Вариант 5, 15, 25, 35							
С ₁ , пФ	4,0	4,0	5,6	4,7	4,1	4,9	4,9
С ₂ , пФ	8,0	8,0	8,4	8,2	8,5	8,9	
Вариант 6, 16, 26, 36							
С ₁ , пФ	488,0	488,0	518,6	488,7	488,1	488,9	
С ₂ , пФ	728,0	728,0	728,4	728,9	728,5	728,9	728,4
Вариант 7, 17, 27, 37							
С ₁ , пФ	458,0	458,0	581,6	458,7	458,1	458,9	458,9
С ₂ , пФ	238,0	238,0	238,4	238,2	238,5	238,9	238,4
Вариант 8, 18, 28, 38							
С ₁ , пФ	148,0	148,0	151,6	148,7	148,1	148,9	
С ₂ , пФ	284,0	284,0	285,4	285,2	285,5	288,9	286,4
Вариант 9, 19, 29, 39							
С ₁ , пФ	8,0	8,0	9,6	8,7	9,1	8,9	9,9
С ₂ , пФ	8,0	10,0	12,4	12,2	8,5	8,9	8,4
Вариант 10, 20, 30, 40							
С ₁ , пФ	348,0	348,0	351,6	348,7	352,1	351,9	
С ₂ , пФ	8,0	8,8	8,4	8,9	8,5	8,9	8,7

7 Подводимое к нагрузке напряжение измеряется как сумма падений напряжений на частях нагрузки $U = U_1 + U_2 + U_3$. Показания вольтметров $U_1 = A_1$; $U_2 = A_2$; $U_3 = A_3$ (в вольтах). По результатам предварительного измерения напряжений известны СКО $\sigma_{U1} = B_1$, $\sigma_{U2} = B_2$, $\sigma_{U3} = B_3$ (в вольтах). Значения коэффициентов корреляции $R_{12} = C_1$; $R_{13} = C_2$; $R_{23} = C_3$. Границы неисключенных остатков систематической погрешности измерения напряжения $\Delta_{c1} = D_1$, $\Delta_{c2} = D_2$, $\Delta_{c3} = D_3$ (в вольтах). Оценить результирующую погрешность измерения напряжения с однократными наблюдениями и записать результат измерения с доверительной вероятностью 0,99 для четных вариантов и 0,95 –

для нечетных. Значения $A_1; A_2; A_3; B_1, B_2, B_3; C_1; C_2; C_2; D_1, D_2, D_3$ и количества наблюдений n заданы в таблице 3.7.

8 Электрическая энергия, потребляемая нагрузкой, рассчитывалась по формуле $E=I^2Rt$. В результате многократных измерений получены следующие значения величин, входящих в формулу:

$I = A_1$ (мА), СКО измерения силы тока B_1 (мА);

$R = A_2$ (кОм), СКО измерения сопротивления B_2 (кОм);

$t = A_3$ (с), СКО измерения времени B_3 (с).

Границы неисключенных остатков систематической погрешности измерения силы тока D_1 (мА), сопротивления D_3 (кОм), времени D_4 (с). Коэффициенты корреляции C_1, C_2, C_3 . Оценить результирующую погрешность измерения энергии с доверительной вероятностью 0,99 для четных вариантов и 0,95 для нечетных. Значения $A_1; A_2; A_3; B_1, B_2, B_3; C_1; C_2; C_2; D_1, D_2, D_3$ и количества наблюдений n заданы в таблице 3.7.

9 Электрическая энергия, потребляемая нагрузкой, рассчитывалась по формуле $E=U^2t/R$. В результате прямых измерений получены следующие значения величин, входящих в формулу:

$U = A_1$ (мВ), СКО измерения напряжения B_1 (мВ);

$R = A_2$ (кОм), СКО измерения сопротивления B_2 (кОм);

$t = A_3$ (с), СКО измерения времени B_3 (с).

Границы неисключенных остатков систематической погрешности измерения напряжения D_1 (мВ), сопротивления D_2 (кОм), времени D_3 (с). Коэффициенты корреляции C_1, C_2, C_3 . Оценить результирующую погрешность измерения энергии с доверительной вероятностью 0,99 для четных вариантов и 0,95 для нечетных. Значения $A_1; A_2; A_3; B_1, B_2, B_3; C_1; C_2; C_2; D_1, D_2, D_3$ и количества наблюдений n заданы в таблице 3.7.

10 Суммарная емкость двух последовательно соединенных конденсаторов измерялась и рассчитывалась по формуле $C = C_1C_2/(C_1+C_2)$. В результате прямых измерений получены следующие значения величин, входящих в формулу:

$C_1 = A_1$ (пФ), СКО измерения емкости $C_1 = B_1$ (пФ);

$C_2 = A_2$ (пФ), СКО измерения емкости $C_2 = B_2$ (пФ).

Границы неисключенных остатков систематической погрешности измерения емкости $C_1 = D_1$ (пФ), $C_2 = D_3$ (кОм). Коэффициент корреляции C_2 . Оценить результирующую погрешность измерения суммарной емкости с доверительной вероятностью 0,99 для четных вариантов и 0,95 для нечетных. Значения $A_1; A_2; B_1, B_2, C_2; D_1, D_2$ и количества наблюдений n заданы в таблице 3.7.

11 Резонансная частота колебательного контура рассчитывалась по формуле $f = \frac{1}{2\sqrt{LC}}$. В результате прямых измерений получены следующие значения величин, входящих в формулу:

$L = A_3$ (мГн), СКО измерения индуктивности B_3 (мГн);

$C = A_2$ (пФ), СКО измерения емкости B_2 (пФ).

Границы неисключенных остатков систематической погрешности измерения индуктивности D_3 (мГн), емкости D_2 (пФ). Коэффициент корреляции C_3 . Оценить результирующую погрешность измерения частоты с доверительной вероятностью 0,99 для четных вариантов и 0,95 для нечетных. Значения A_2 ; A_3 ; B_2 ; B_3 ; C_3 ; D_2 ; D_3 и количества наблюдений n заданы в таблице 3.7.

Таблица 3.7

Параметр	Вариант									
	1,11 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30,40
A_1	23,8	43,8	4,97	23,8	3,88	56,8	33,65	3,16	23,8	8,8
A_2	14,6	18,6	4,68	14,6	84,65	84,6	34,68	14,39	94,6	4,6
A_3	7,3	17,3	75,13	7,3	72,35	33,3	77,32	54,37	57,8	7,3
B_1	0,87	0,07	0,17	0,87	0,07	0,87	1,87	0,07	0,67	0,8
B_2	0,13	0,18	0,13	0,13	1,13	0,93	1,13	0,31	0,32	0,1
B_3	0,45	0,14	0,58	0,45	1,45	0,05	2,45	0,58	1,45	0,4
C_1	0,1	0,2	-0,1	0,1	-0,1	0	0,9	-0,1	-0,1	0
C_2	0,2	0,4	0,82	0,2	-0,2	-0,2	-0,9	0,2	-0,2	0
C_3	-0,4	-0,7	0,4	-0,4	0	-0,4	0	-0,4	0	-0,4
D_1	0,01	0,11	0	0,01	0,41	0,11	1,01	0,16	0,19	0,7
D_2	0,13	0,03	0,33	0,13	0	0	0,93	0,83	1,13	0,5
D_3	0,44	0,34	0,41	0,44	0,84	0	0	0,24	0,04	0
n	15	14	13	12	11	19	25	18	17	16

12 Выбрать магнитоэлектрический вольтметр или амперметр со стандартными пределами измерения и классом точности при условии, что результат измерения напряжения или тока должен отличаться от действительного значения Q не более чем на Δ . Стандартные пределы измерения для вольтметра 10, 30, 100, 300 В, для амперметра – 10, 30, 100, 300, 1000 мА. Выбор необходимого предела измерения и класса точности обосновать. Данные о значениях Q и Δ приведены в таблице 3.8.

Ток $I = Q_2$ мА, допустимое предельное отклонение результата Δ_2 , мА (для четных вариантов).

Напряжение $U = Q_1$ мВ, допустимое предельное отклонение результата Δ_1 , мВ (для нечетных вариантов).

Таблица 3.8

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30,40
Q_1	147	85	49	56	21	190	18,0	40	120	12,5
Q_2	43	190	36	170	8,5	570	69,0	23	14	195
$\pm\Delta_1$	0,7	1,8	0,8	2,0	0,3	9,0	0,3	0,4	3,5	0,5
$\pm\Delta_2$	0,9	1,4	1,2	1,2	0,12	4,3	0,09	0,18	0,55	0,28

13 На основе магнитоэлектрического измерительного механизма с внутренним сопротивлением R_i , ценой деления C_i и шкалой с N делениями необходимо создать вольтамперметр с пределами измерения по току I_A и напряжению U_V . Рассчитать сопротивления шунта и добавочного резистора, определить цену деления созданного прибора и начертить принципиальную схему вольтамперметра. Данные о значениях R_i , C_i , N , I_A , U_V приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10, 20, 30, 40
R_i , кОм	0,13	0,68	1,56	1,98	1,27	2,15	0,82	0,99	1,43	0,79
C_i , мкА/дел	5,0	2,0	2,5	1,0	0,5	1,0	5,0	2,0	4,0	2,0
N , дел	100	50	200	150	100	75	50	100	50	75
I_A , мА	4,0	20	40	30	2,5	3,0	2,5	10	25	15
U_V , В	2,0	5,0	10	7,5	2,0	3,0	5,0	2,0	5,0	15
R_{H1} , Ом	50	40	100	47	120	110	130	51	33	22
R_0 , кОм	0,5	2,0	1,5	1,8	2,4	8,2	5,6	0,8	4,7	9,2
R_{H2} , кОм	2,0	5,1	7,5	9,1	10,0	1,2	1,0	3,3	8,2	12,0

14 В процессе измерения напряжения в цепи получен результат U_X . Определить методическую погрешность измерения и действительное значение падения напряжения на резисторе R_{H2} . Данные о значениях U_X , R_0 , R_{H2} , и R_V приведены в таблице 3.10.

15 В процессе измерения тока в цепи получен результат I_X . Определить методическую погрешность измерения и действительное значение тока I . Данные со значениями I_X , R_A , R_{H1} приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30,40
I_X , мА	2,2	31,6	5,9	12,0	109	215	67	54	36	150
R_A , Ом	18,2	43,8	20,1	54,8	9,8	3,2	5,95	16,3	21,8	9,5
R_{H1} , Ом	93	150	82	75	44	8,5	9,1	10,2	77	17
U_X , В	31,2	5,3	48	1,5	3,6	71	18,5	9,2	4,7	51
R_0 , кОм	7,5	0,5	56	9,8	1,0	10	9,7	3,3	12	91
R_{H2} , кОм	12,0	27,0	5,1	1,2	18	150	82	16	40	82
R_V , кОм	100	50	200	40	50	100	40	50	25	100

16 Определить пределы абсолютной и относительной инструментальных погрешностей измерения тока двумя магнитоэлектрическими амперметрами с классами точности γ_1 и γ_2 и указать, какой из результатов измерения, $I_1 = X_1$ мА или $I_2 = X_2$, мА получен с большей точностью (таблица 3.11). Могут ли показания исправных приборов отличаться так, как задано в условии? Приборы имеют нули в начале шкалы и пределы измерения A_1 и A_2 , мА.

17 Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока, если измерения проводились магнитоэлектрическим прибором с классом точности γ_1 и пределом измерения A_1 , мА, результат измерения силы тока X_1 , мА (таблица 3.11). Миллиамперметр имеет ноль в начале шкалы.

18 Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения, если измерения проводились магнитоэлектрическим прибором с классом точности γ_2 и пределом измерения A_2 , В, результат измерения напряжения X_2 , В (таблица 3.11). Вольтметр имеет ноль в середине шкалы.

Таблица 3.11

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10, 20, 30, 40
A_1	100	250	25	100	75	50	300	75	30	50
A_2	150	200	10	75	25	20	500	100	15	30
γ_1	2,5	1,0	2,5	4,0	0,2	0,5	2,5	1,5	0,1	2,0
γ_2	2,0	0,5	4,0	5,0	1,5	1,0	1,5	2,0	0,25	4,0
X_1	72	185	7,8	76	21,5	19	282	65	12,8	27,5
X_2	79	180	8,6	70	20,1	18,2	270	63	12,4	25,8

19 На основе магнитоэлектрического измерительного механизма с внутренним сопротивлением R_i , ценой деления C_i и шкалой с N делениями необходимо создать вольтамперметр с пределами измерения по току I_A

и напряжению U_V . Рассчитать сопротивления шунта и добавочного резистора, определить цену деления созданного прибора и начертить принципиальную схему вольтметра. Данные о значениях R_i , C_i , N , I_A , U_V приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30, 40
R_i , кОм	0,13	0,68	1,56	1,98	1,27	2,15	0,82	0,99	1,43	0,79
C_i , мкА/дел	5,0	2,0	2,5	1,0	0,5	1,0	5,0	2,0	4,0	2,0
N , дел	100	50	200	150	100	75	50	100	50	75
I_A , мА	4,0	20	40	30	2,5	3,0	2,5	10	25	15
U_V , В	2,0	5,0	10	7,5	2,0	3,0	5,0	2,0	5,0	15
R_{H1} , Ом	50	40	100	47	120	110	130	51	33	22
R_0 , кОм	0,5	2,0	1,5	1,8	2,4	8,2	5,6	0,8	4,7	9,2
R_{H2} , кОм	2,0	5,1	7,5	9,1	10,0	1,2	1,0	3,3	8,2	12,0

20 Определить амплитудное, среднеквадратическое и средневывпрямленное значения напряжения пилообразной формы ($k_a = 1,73$ и $k_\phi = 1,16$), поданного на вход электрического вольтметра класса точности γ_1 с детектором средневывпрямленного значения, вход открытый, шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Показания вольтметра U_1 . Значения U_1 и γ_1 приведены в таблице 3.13. Определить погрешность измерения напряжения.

21 Определить амплитудное, среднеквадратическое и средневывпрямленное значения напряжения пилообразной формы ($k_a = 1,73$ и $k_\phi = 1,16$), поданного на вход электрического вольтметра класса точности γ_2 , с детектором среднеквадратического значения, вход открытый, шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Показания вольтметра U_2 . Значения U_2 и γ_2 приведены в таблице 3.13.

22 Определить амплитудное, среднеквадратическое и средневывпрямленное значения напряжения пилообразной формы ($k_a = 1,73$ и $k_\phi = 1,16$), поданного на вход электрического вольтметра класса точности γ_2 , с детектором пикового значения, вход открытый, шкала проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения. Показания вольтметра U_2 . Значения U_2 и γ_2 приведены в таблице 3.13.

23 Сигнал синусоидальной формы после однополупериодного выпрямителя, характеризующийся коэффициентами амплитуды $k_a = 2,0$ и формы $k_\phi = 1,76$, подан на вход вольтметра с классом точности γ_1 и нулем в начале

шкалы в положительной полярности. Определить амплитудное, среднеквадратическое и средневывпрямленное значения напряжения и погрешность их измерения. Показание вольтметра U_1 . Значения U_1 и γ_1 приведены в таблице 3.13.

24 Сигнал синусоидальной формы после двухполупериодного выпрямителя, характеризующийся коэффициентами амплитуды $k_a = 2,0$ и формы $k_\phi = 1,76$, подан на вход вольтметра с классом точности γ_2 и нулем в начале шкалы в отрицательной полярности. Показание вольтметра U_2 . Значения U_2 и γ_2 приведены в таблице 3.13. Определить амплитудное, среднеквадратическое и средневывпрямленное значения напряжения и погрешность их измерения.

25 Сигнал синусоидальной формы после однополупериодного выпрямителя, характеризующийся коэффициентами амплитуды $k_a = 2,0$ и формы $k_\phi = 1,76$, подан на вход вольтметра класса точности γ_2 в положительной полярности. Показание вольтметра U_3 . Значения U_3 и γ_2 приведены в таблице 3.13. Определить амплитудное, среднеквадратическое и средневывпрямленное значения напряжения и погрешность их измерения.

26 Вольтметры имеют открытые входы, шкалы их отградуированы в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения, детекторы соответственно пиковый, среднеквадратичного и средневывпрямленного значения. Измеряемые напряжения имеют коэффициенты формы k_ϕ и амплитуды k_a . По известным показаниям одного из вольтметров определить показания двух других:

- а) показания пикового вольтметра U_1 ;
- б) показания вольтметра с детектором среднеквадратического значения U_2 ;
- в) показания вольтметра с детектором средневывпрямленного значения U_3 .

Показания вольтметров и коэффициенты амплитуды и формы приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30, 40
U_1 , мВ	0,13	0,68	11,5	31,8	12,7	2,1	0,82	99	43	79
U_2 , мВ	56,0	27,0	22,5	19,0	60,5	12,0	54,0	72,0	84,0	12,0
U_3 , мВ	120	56	24	15	11	756	508	109	540	765
k_a	1,73	1,86	1,6	1,5	1,55	1,95	1,65	1,60	1,70	2,10
k_ϕ	1,16	1,32	1,1	1,2	1,05	1,43	1,21	1,15	1,25	1,35
γ_1	2,5	1,0	2,5	4,0	0,2	0,5	2,5	1,5	0,1	2,0
γ_2	2,0	0,5	4,0	5,0	1,5	1,0	1,5	2,0	0,25	4,0

27 Определить показания выпрямительного и термоэлектрического амперметров, имеющих классы точности γ_1 (выпрямительный амперметр) и γ_2 (термоэлектрический амперметр), при измерении импульсного тока (рисунок 3.1). Определить также пределы основных инструментальных абсолютной и приведённой погрешностей измерения, выбрав соответствующие пределы измерения из ряда 30 мА; 100 мА; 300 мА; 1 А; 3 А Параметры импульсов (τ , T , I_1 , I_2) и значения γ_1 и γ_2 приведены в таблице 3.14.

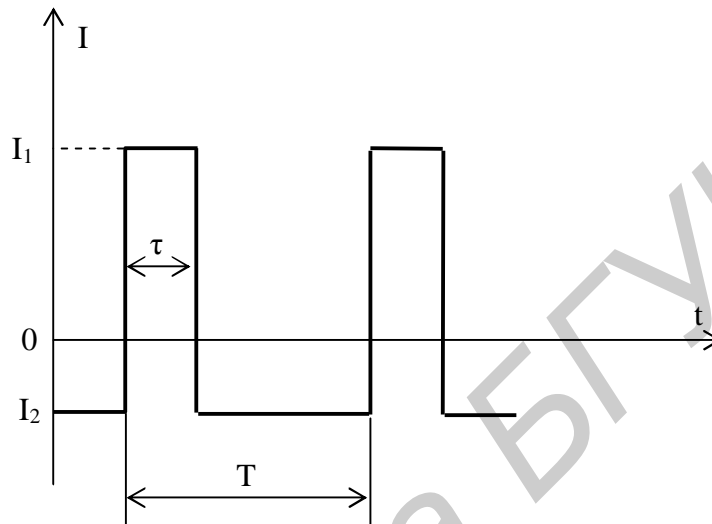


Рисунок 3.1

Таблица 3.14

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30, 40
τ , мс	5,0	10	8,0	12	4,0	6,0	9,0	7,0	10	15
T , мс	25	40	40	60	24	30	36	42	30	60
I_1 , А	1,2	1,0	1,4	1,3	0,8	0,9	1,4	1,2	1,0	0,8
I_2 , А	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2	0,6	0,4	0,2
U , В	2,1	2,0	8,0	40	1,8	1,5	6	25	1,5	12
Q	5	2	7	7,5	4	8	10	6,5	3,5	3
γ_1	0,1	0,5	0,2	1,0	2,0	0,5	0,25	0,2	1,5	1,0
γ_2	0,5	0,2	1,0	0,5	1,0	0,2	0,5	0,1	1,0	2,0

28 При измерении постоянного напряжения цифровым вольтметром частотно-импульсного преобразования на выходе компаратора за временной интервал $T_{и}$ было сформировано N импульсов. Определить значение постоянного напряжения, поданного на вход частотно-импульсного преобразователя, имеющего следующие параметры: пороговое напряжение компаратора U_0 , начальное напряжение интегратора E . Определить погрешность измерения напряжения, обусловленную погрешностью дискретности. Значения $T_{и}$, U_0 и E приведены в таблице 3.15.

29 При измерении постоянного напряжения цифровым вольтметром времяимпульсного преобразования на счетчик поступило N импульсов, следующих с частотой повторения $F_{пов}$. Определить значение измеряемого постоянного напряжения U_x и погрешность его измерения, если скорость нарастания линейного изменяющегося напряжения U_k определяется формулой $V_k = \frac{dU_k}{dt}$. Значения N , $F_{пов}$, V_k приведены в таблице 3.15. Определить погрешность измерения напряжения, обусловленную погрешностью дискретности.

Таблица 3.15

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30,40
N	500	100	200	150	300	250	400	70	80	90
$T_{и}, c$	0,01	0,1	1,0	0,01	0,1	1,0	0,01	0,1	1,0	0,01
$F_{пов}, МГц$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$V_k, В/с$	0,01	0,001	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
$E, В$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$U_0, В$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

30 Ваттметр поглощаемой мощности подключен к СВЧ-генератору через аттенюатор с ослаблением A (таблица 3.16). Определить мощность на входе аттенюатора, если показания ваттметра P_{w1} , коэффициент стоячей волны входа аттенюатора $K_{ств}$.

31 Решить задачу 30, если показания ваттметра равны P_{w2} .

Таблица 3.16

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30,40
$A, дБ$	25	15	32	20	40	36	8,0	30	10	22
$\pm\Delta_A, дБ$	0,5	0,3	1,5	1,7	2,5	1,8	0,2	1,0	0,3	0,5
$\pm\delta_p, \%$	10	15	10	20	10	15	10	20	10	20
$K_{ств}$	1,2	1,1	2,0	1,8	2,6	1,3	1,4	1,7	2,2	1,5
$P_{w1}, мВт$	0,27	0,55	2,2	4,52	2,0	0,75	0,49	0,32	1,8	0,19
$P_{w2}, мВт$	0,05	0,13	0,11	0,41	0,26	0,32	0,25	0,13	0,2	0,05
$C_1, дБ$	20	15	25	30	30	20	10	15	25	10
$C_2, дБ$	15	20	10	25	15	10	20	10	30	15

32 Ваттметр поглощаемой мощности подключен к вторичному каналу направленного ответвителя (НО) с переходным ослаблением C_1 (рисунок 3.2). Определить падающую, отраженную и проходящую мощность, если показания ваттметра P_{w1} , коэффициент стоячей волны нагрузки равен $K_{ств}$ (таблица 3.16).

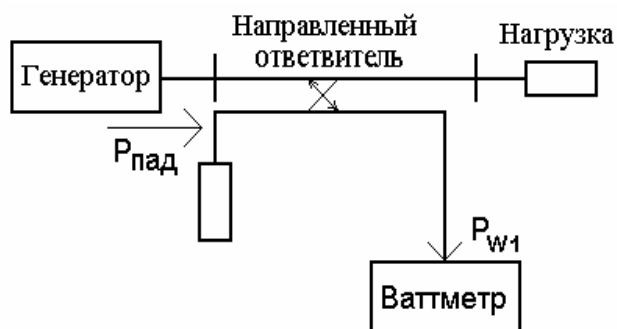


Рисунок 3.2

33 Решить задачу 32, если ваттметр включен по схеме (рисунок 3.3) и его показания P_{w2} .

34 Решить задачу 32, если показания ваттметра P_{w1} , переходное ослабление НО C_2 (таблица 3.16) и включение по схеме (рисунок 3.3).

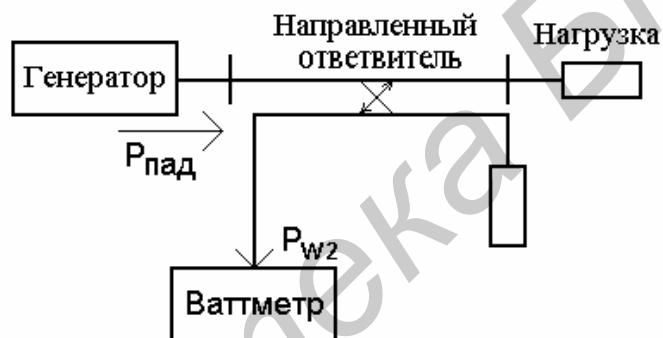


Рисунок 3.3

35 Определить относительную и абсолютную погрешности измерения частоты f_2 универсальным цифровым частотомером, если время измерения $T_{и}$, нестабильность частоты кварцевого генератора δ_0 . Значения f_2 , $T_{и}$, δ_0 приведены в таблице 3.17.

36 Определить относительную и абсолютную погрешность измерения периода T_x универсальным цифровым частотомером, если период счетных импульсов T_0 , нестабильность частоты кварцевого генератора δ_0 . Значения T_x , T_0 , δ_0 приведены в таблице 3.17.

37 Определить относительную погрешность измерения отношения частот f_3/f_2 универсальным цифровым частотомером. Значения f_3 и f_2 приведены в таблице 3.17.

38 Определить погрешность измерения частоты f_4 цифровым частотомером. Время измерения $T_{и}$. Определить погрешность измерения периода этого же сигнала, если период счетных импульсов T_0 , нестабильность частоты кварцевого генератора δ_0 . Сравнить полученные результаты. Значения f_4 , $T_{и}$, T_0 , δ_0 приведены в таблице 3.17.

39 Определить погрешность измерения периода T_x универсальным цифровым частотомером, если период импульсов кварцевого генератора T_0 , нестабильность его частоты δ_0 (таблица 3.17). Оценить, как изменится погрешность измерения, если измерение осуществлялось за 10 периодов.

40 При измерении интервала времени τ_x погрешность измерения составила δ_2 . Как необходимо изменить период счетных импульсов, чтобы погрешность измерения τ_x не превышала δ_1 ? Нестабильность частоты генератора счетных импульсов не превышает δ_0 (таблица 3.17).

Таблица 3.17

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15, 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30,40
Q	800	1200	1000	900	1500	1400	1200	800	1000	2000
γ	1,0	1,5	0,5	1,0	0,5	1,5	1,0	1,5	0,5	1,0
K	0,8	0,7	0,6	0,5	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	0,6
f_1 , ГГц	2,2	1,4	2,8	1,6	3,2	4,4	2,6	1,8	3,7	4,0
f_2 , кГц	150	160	340	180	200	210	215	220	225	240
f_3 , кГц	1225	1192	1425	1216	1250	1280	1258	1275	1270	1320
f_4 , кГц	1215	840	56	3,8	570	1415	5,9	27	240	82,5
$T_{и}$, с	0,01	0,1	1,0	10	0,1	0,01	10	1,0	1,0	1,0
T_0 , мкс	0,01	0,01	1,0	1,0	0,1	0,01	1,0	0,1	0,1	0,1
$\pm \delta_0 \cdot 10^6$	2	5	20	10	5	50	1	2	4	25
T_x , мс	0,36	0,047	13,2	285	1,23	0,836	36,4	6,75	92,5	4,46
$\pm \delta_1$, %	0,09	0,05	0,08	0,05	0,06	0,07	0,08	0,090	0,07	0,06
$\pm \delta_2$, %	5	5	3	3	5	3	5	4	3	4

В задачах 41–44 необходимо по типу измеряемого элемента выбрать и зарисовать схему измерительного моста, записать для нее условие равновесия, получить из него выражения для C_x , R_x , $\text{tg}\delta$ или L_x , R_x , Q и определить их. При этом измеряемый элемент заменить соответствующей эквивалентной схемой, трансформировав при необходимости схему моста. На окончательной схеме показать в виде переменных элементы (резисторы, конденсаторы и т.д.), которыми его следует уравнивать, чтобы обеспечить прямой отсчет за-

данных в условии величин. Частота питающего напряжения 1 кГц. Определить абсолютные погрешности однократного измерения C_x , R_x , $\operatorname{tg}\delta$ или L_x , R_x , Q из-за неидеальности образцовых мер R_2 , R_3 , R_4 , C_3 , если среднеквадратические отклонения случайных погрешностей этих мер σ_{R2} , σ_{R3} , σ_{R4} , σ_{C3} . Значение доверительной вероятности принять $P_d = 0,95$ для четных вариантов и $P_d = 0,99$ – для нечетных.

41 Конденсатор с большими потерями. Параметры элементов мостовой цепи указаны в таблице 3.18. Прямой отсчет C_x и R_x .

42 Конденсатор с малыми потерями. Параметры элементов мостовой цепи указаны в таблице 3.18. Прямой отсчет C_x и R_x .

43 Катушка индуктивности с малой добротностью. Параметры элементов мостовой цепи указаны в таблице 3.18. Прямой отсчет L_x и Q .

44 Катушка индуктивности с большой добротностью. Параметры элементов мостовой цепи указаны в таблице 3.18. Прямой отсчет L_x и R_x .

Таблица 3.18

Параметр	Вариант									
	1,11, 21,31	2,12, 22,32	3,13, 23,33	4,14, 24,34	5,15 25,35	6,16, 26,36	7,17, 27,37	8,18, 28,38	9,19, 29,39	10,20, 30,40
R_2 , Ом	100	830	1500	2700	560	3600	330	4700	620	1100
R_3 , кОм	8,2	2,2	3,3	4,7	7,5	2,7	1,5	5,1	2,0	1
R_4 , кОм	5,1	12	18	15	9,1	22	2,7	24	7,5	16
C_3 , нФ	2,2	15	12	5,1	3,3	33	47	18	56	82
σ_{R2} , Ом	0,2	0,5	1	1	0,4	1,2	0,3	1,5	0,6	0,8
σ_{R3} , Ом	2,2	0,8	1,1	1,4	1,6	0,8	0,4	1,8	1	0,6
σ_{R4} , Ом	2	3	4	4	3	6	1	5	2	2,6
σ_{C3} , нФ	0,01	0,02	0,012	0,007	0,005	0,016	0,024	0,03	0,06	0,08

Учебное издание

МЕТРОЛОГИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Рабочая программа. Методические указания.
Контрольные задания

для студентов специальности
1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»
заочной формы обучения

Составитель
Дерябина Марина Юрьевна

Редактор М. В. Тезина
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 28.11.2008.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 2,2.

Формат 60×84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 75 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,44.
Заказ 69.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6