

Министерство образования и науки РФ

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра электронных систем автоматики и управления

В.Ф. Отчалко

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Учебное методическое пособие

2010

Корректор: Осипова Е.А.

Отчалко В.Ф.

Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное методическое пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. — 52 с.

© Отчалко В.Ф., 2010

© Томский межвузовский центр
дистанционного образования, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Введение.....	4
2 Рабочая программа курса	5
3 Учебно-методические материалы по дисциплине	9
4 Методические указания к изучению дисциплины	10
4.1 Основы метрологии	10
4.1.1 Примеры решения задач.....	10
4.1.2 Задачи для самостоятельного решения.....	11
4.2 Основы теории погрешностей.....	11
4.2.1 Примеры решения задач.....	11
4.2.2 Задачи для самостоятельного решения.....	18
4.3 Обработка результатов измерений.....	20
4.3.1 Примеры решения задач.....	20
4.3.2 Задачи для самостоятельного решения.....	29
5 Контрольная работа № 1.....	31
5.1 Систематические и случайные погрешности.....	31
5.2 Суммирование погрешностей.....	34
5.3 Обработка однократных прямых измерений	36
5.4 Обработка многократных измерений	38
5.5 Обработка косвенных измерений.....	39
6 Контрольная работа № 2.....	43
6.1 Электрорадиоизмерения	43
6.2 Автоматизация измерений.....	45
6.3 Метрологическое обеспечение.....	45
6.4 Техническое регулирование	46
6.5 Стандартизация.....	46
6.6 Подтверждение соответствия. Сертификация	47
Приложение. Статистические таблицы.....	48
Заключение	52

1 ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» включает в себя разделы: основы метрологии, метрологическое обеспечение, электрорадиоизмерения, автоматизация измерений, основы технического регулирования. Все эти вопросы в достаточном объеме рассмотрены в учебном пособии. Настоящее пособие предназначено для организации самостоятельной работы студента по изучению дисциплины, для выработки и закрепления практических навыков в основных разделах теоретического курса. Основное внимание обращено на вопросы обработки экспериментальных данных при определении результата и погрешности измерений.

Пособие включает материалы, необходимые для изучения дисциплины, примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения. Кроме того приводятся две контрольные работы, включающие задания по основным разделам курса. Эти работы студент должен выполнить в ходе изучения дисциплины. Заканчивается обучение компьютерным экзаменом.

2 РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА

Направление подготовки дипломированных специалистов 210400 — «Телекоммуникации» утверждено приказом МО РФ № 686 от 02.03.2000 г.

Перечень образовательных программ (специальностей), реализуемых в рамках данного направления:

210401 — «Физика и техника оптической связи»

210402 — «Средства связи с подвижными объектами»

210403 — «Защищенные системы связи»

210405 — «Радиосвязь, радиовещание и телевидение».

210406 — «Сети связи и системы коммутации».

210404 — «Многоканальные телекоммуникационные системы».

Выписка из ГОСа направления «Телекоммуникации»

ОПД.Ф.03	<i>Метрология, стандартизация и сертификация:</i> Метрология, стандартизация и сертификация, принципы и методы измерений, методы и средства обеспечения единства и точности измерений; принципы построения и особенности средств измерений (СИ) основных электрических и радиотехнических величин; принципы построения цифровых СИ; автоматизация измерений; информационно-измерительные системы; особенности измерений в системах связи с разной средой распространения; основы стандартизации, особенности сертификации аппаратуры связи различного назначения, сертификация средств измерений.	119 часов
----------	---	-----------

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине «Метрология, стандартизация
и сертификация»

ЧАСТЬ 1. МЕТРОЛОГИЯ

1. Основы метрологии

Понятие измерения. Основные понятия, термины и определения метрологии. Единицы измерения физической величины (ФВ). Виды единиц ФВ. Система единиц СИ. Классификация измерений. Понятие средства измерений (СИ). Классификация СИ. Меры, измерительные преобразователи, устройства сравнения, измерительные приборы и установки, измерительные системы и комплексы. Общие свойства СИ. Основные метрологические характеристики. Понятие принципа и метода измерения ФВ. Классификация методов в зависимости от способа использования меры. Основные этапы измерения ФВ. Модель объекта, выбор метода измерений, выбор средства измерений, проведение измерений.

2. Основы теории погрешности измерений

Основные факторы, вызывающие погрешности результата измерений. Классификация погрешностей измерений. Систематические погрешности, методы обнаружения и исключения систематических погрешностей. Случайные погрешности, точечные оценки и доверительный интервал. Правила суммирования погрешностей. Правила округления погрешностей и записи результата измерений.

3. Обработка результатов измерений

Погрешности СИ. Классы точности СИ. Обработка результатов прямых однократных, прямых многократных и косвенных измерений.

ЧАСТЬ 2. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

4. Общие принципы построения измерительных приборов

Обобщенные структурные схемы измерительных приборов. Принципы построения цифровых СИ. Особенности измерений в системах связи с разной средой распространения.

5. Измерение силы тока и напряжения

6. Электронно-лучевые осциллографы

7. Измерение временных интервалов, частоты и фазы сигналов

8. Измерения параметров спектра сигналов

9. Измерение мощности

10. Измерение параметров цепей

11. Особенности измерений в системах связи с разной средой распространения.

ЧАСТЬ 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

12. Автоматизация измерений. Измерительные информационные системы

Основные направления и задачи автоматизации измерений. Микропроцессорные средства измерений. Информационно-измерительные системы. Системы контроля, диагностирования, идентификации. Компьютерно-измерительные системы (виртуальные приборы).

ЧАСТЬ 4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

13. Методы и средства обеспечения единства и точности измерений

Понятие метрологического обеспечения. Основные положения закона РФ «Об обеспечении единства измерений». Методы и средства обеспечения единства и точности измерений. Эталоны, виды эталонов. Поверка и калибровка СИ. Поверочные схемы. Система государственного надзора за состоянием средств измерений в стране.

Структура и функции метрологической службы организаций.

ЧАСТЬ 5. ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

14. Основы технического регулирования

Основные положения закона РФ «О техническом регулировании». Технические регламенты.

15. Основы стандартизации

Научные и правовые основы стандартизации. Основные понятия и определения. Объекты стандартизации. Цели и задачи стандартизации.

Виды и методы стандартизации. Виды нормативных документов по стандартизации. Государственный надзор и контроль за соблюдением требований нормативных документов. Международная стандартизация.

16. Подтверждение соответствия

Определение понятия «Подтверждение соответствия», обязательное и добровольное подтверждение соответствия. Основные цели и объекты сертификации. Системы и схемы сертификации. Правила и порядок проведения сертификации. Особенности сертификации аппаратуры связи, сертификация средств измерений.

3 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1 Основная литература

3.1.1 Отчалко В.Ф. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. — Томск: ТМЦДО, 2009.

3.1.2 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефёдов и др. — М.: Высшая школа, 2005. — 598 с.: ил.

3.1.3 Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 304 с.

3.1.4 Метрология и радиоизмерения: Учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Хахин, В.К. Битюков и др.; под ред. В.И. Нефёдова. — М.: Высшая школа, 2003. — 525 с.: ил.

3.1.5 Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учеб. пособие / К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович, Б.Я. Литвинов. — СПб.: Питер, 2006. — 368 с.: ил.

3.1.6 Эрастов В.Е. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. — Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2005. — 266 с.

3.2 Дополнительная литература

3.2.1 Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учеб. пособие для вузов. — М.: Логос, 2001. — 408 с.

3.2.2 Эрастов В.Е., Сидоров Ю.К., Отчалко В.Ф. Измерительная техника и датчики: Учеб. метод. пособие. — Томск: ТМЦДО, 1999. — 158 с.

3.2.3 Основополагающие стандарты в области метрологии. Издание официальное — М.: Изд-во стандартов, 1986.

3.2.4 Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ.

3.2.5 Закон РФ «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ.

3.2.6 Сборник нормативных документов по сертификации. Издание официальное. — М.: НПК Изд-во стандартов, 1998.

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

В этом разделе приводятся примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения по основным темам изучаемой дисциплины. Изучение теоретических вопросов дисциплины производится по соответствующим разделам учебного пособия, а в случае недостаточности приведенных в нем материалов — по источникам, указанным в списке литературы.

4.1 Основы метрологии

4.1.1 Примеры решения задач

Задача 1

Определяется ток в цепи в соответствии с законом Ома $I = U/R$, для чего используются вольтметр для измерения напряжения U и омметр для измерения сопротивления R . Измерения проводятся в одинаковых условиях, т.е. считается, что ЭДС источника питания и все влияющие величины (температура, влажность и т.д.) постоянны в течение времени измерения. Измерение проводится один раз.

Классифицировать вид и метод измерения каждой из величин.

Решение задачи

Измерения U и R — прямые (их значения устанавливаются по индикаторам соответствующих приборов непосредственно в ходе измерительного эксперимента), однократные (измерения проводятся один раз), статические (ЭДС источника и сопротивление постоянны), абсолютные (результаты измерений получаются в соответствующих единицах ФВ).

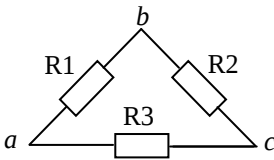
Измерение I — косвенное (определяется на основании известной зависимости по результатам прямых измерений других величин U и R), однократное, статическое, абсолютное.

Так как измерения не связаны с передачей размера единицы ФВ и производятся рабочими СИ, то все измерения технические.

Напряжение и сопротивление измеряются методом непосредственной оценки, т.к. результаты измерений определяются непосредственно по отсчетным устройствам приборов.

4.1.2 Задачи для самостоятельного решения

1) Резисторы R_1 , R_2 , R_3 соединены треугольником (см. рисунок). При измерении этих сопротивлений омметр подключается к точкам a и b , затем к точкам b и c , а далее к точкам a и c . При этом получены следующие значения $R_{ab} = 1,5 \text{ кОм}$, $R_{bc} = 2 \text{ кОм}$, $R_{ac} = 1,8 \text{ кОм}$.



Определить R_1 , R_2 , R_3 , классифицировать вид измерений, применяемый в данном случае.

2) Милливольтметр со шкалой на $N = 150$ делений имеет сопротивление $R_V = 10 \text{ Ом}$ и чувствительность к току $S_I = 20 \text{ дел/мА}$.

Определить чувствительность к напряжению S_U , цену деления шкалы прибора ΔU и верхний предел измерений $U_{iшк}$.

3) Известно, что температурная зависимость электрического сопротивления металлического проводника выражается формулой $R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$. Какой вид измерения необходимо применить для определения величин R_0 , A , B .

4.2 Основы теории погрешностей

4.2.1 Примеры решения задач

Задача 1

В цепи, содержащей идеальный источник напряжения U (внутреннее сопротивление $R_i = 0$) и сопротивление нагрузки

R_n , измеряется сила тока амперметром с внутренним сопротивлением R_A . Амперметр измеряет силу тока абсолютно точно.

Определить абсолютную и относительную погрешность измерения тока за счет конечного значения R_A . Классифицировать измерение и погрешность измерения. Определить величину поправки, необходимой для устранения погрешности измерения.

Решение задачи

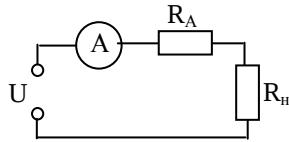
По определению абсолютная погрешность измерения

$$\Delta I = I_{изм} - I_{ист}.$$

В данном случае видно, что

$$I_{изм} = \frac{U}{R_A + R_n},$$

а $I_{ист} = \frac{U}{R_n}$ (ток, который проте-



кал в цепи до включения в нее амперметра), тогда

$$\Delta I = \frac{U}{R_A + R_n} - \frac{U}{R_n} = -\frac{U}{R_n} \cdot \frac{R_A}{(R_A + R_n)}.$$

Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta I}{I_{ист}} = -\frac{R_A}{R_A + R_n} = -\frac{1}{1 + \frac{R_n}{R_A}}.$$

Отсюда следует общеизвестный вывод: для обеспечения малой методической погрешности измерения амперметр должен обладать малым сопротивлением, т.е. должно выполняться условие $R_A \ll R_n$.

Погрешность измерения является в данном случае **методической**, т.к. обусловлена неидеальностью метода измерения (по условию задачи амперметр измеряет силу тока абсолютно точно, т.е. инструментальные погрешности отсутствуют); **систематической** (т.к. при многократных измерениях погрешность остается постоянной). Само измерение можно классифицировать как **прямое, непосредственной оценки, абсолютное, однократное, статическое**.

Поправка A_R , необходимая для устранения систематической погрешности, представляет собой абсолютную погрешность, взятую с противоположным знаком, т.е.

$$A_R = -\Delta I = \frac{U}{R_H} \cdot \frac{R_A}{(R_A + R_H)}.$$

Задача 2

Миллиамперметр с пределом измерения $I_{\text{иик}} = 100 \text{ мА}$ показал результат измерения тока $I_{\text{изм}} = 76 \text{ мА}$. При этом известно, что действительное значение $I_{\text{дст}} = 75 \text{ мА}$. Определить абсолютную, относительную и приведенную погрешности измерения.

Решение задачи

Известно, что абсолютная погрешность $\Delta I = I_{\text{изм}} - I_{\text{ист}}$, но т.к. истинное значение ФВ мы никогда не можем знать, то в метрологии истинное значение при всех вычислениях заменяют действительным значением, т.е.

$$\Delta I = I_{\text{изм}} - I_{\text{дст}} = (76 - 75) \text{ мА} = 1 \text{ мА}.$$

Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta I}{I_{\text{ист}}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{дст}}} = \frac{1}{75} = 0,013 = 1,3 \text{ \%}.$$

Приведенная относительная погрешность по определению:

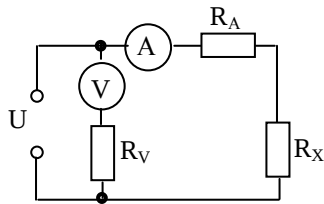
$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{нормир}}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{иик}}} = \frac{1}{100} = 0,01 = 1 \text{ \%}.$$

Задача 3

Методом амперметра-вольтметра по приведенной схеме измеряется сопротивление R_X . Показания приборов:

$$I_A = 0,03 \text{ А}; \quad U_V = 9 \text{ В};$$

$$R_A = 3 \text{ Ом}; \quad R_V = 10 \text{ кОм}.$$



Определить:

- 1) результат измерения;
- 2) абсолютную и относительную методические погрешности измерения;
- 3) исправленный результат измерения.

Решение задачи

Результат измерения в соответствии с указанным методом определяется на основании закона Ома по показаниям приборов

$$R_{X \text{ изм}} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{9}{0,03} = 300 \text{ Ом}.$$

Абсолютная методическая погрешность измерения

$$\begin{aligned} \Delta R &= R_{X \text{ изм}} - R_{X \text{ уст}} = \frac{U_V}{I_A} - R_{X \text{ уст}} = \frac{U_A + U_X}{I_A} - R_{X \text{ уст}} = \\ &= \frac{U_A}{I_A} + \frac{U_X}{I_A} - R_{X \text{ уст}} = \frac{U_A}{I_A} + R_{X \text{ уст}} - R_{X \text{ уст}} = \frac{U_A}{I_A} = R_A = 3 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

где U_X и U_A — падения напряжения на R_X и R_A соответственно, а I_X — ток через R_X .

Относительная методическая погрешность измерения

$$\delta = \frac{\Delta R}{R_{X \text{ уст}}}.$$

Найдем $R_{X \text{ уст}}$, это исправленный результат измерения с учетом внесенной поправки $A_R = -\Delta R = -R_A = 3 \text{ Ом}$, тогда

$$R_{X \text{ уст}} = R_{X \text{ изм}} + A_R = (300 - 3) \text{ Ом} = 297 \text{ Ом}$$

$$\text{и } \delta = \frac{\Delta R}{R_{X \text{ уст}}} = \frac{3}{297} \cdot 100 \% = 1,01 \%.$$

Задача 4

При обработке результатов измерений напряжения получены следующие оценки погрешности: систематическая погрешность $\Delta U_{\text{сист}} = +20 \text{ мВ}$; среднеквадратическая погрешность $S = 40 \text{ мВ}$. Случайная погрешность распределена по нормальному закону.

Определить вероятность того, что результат измерения отличается от истинного значения ФВ не более чем на $\Delta U = \pm 100 \text{ мВ}$. Решить задачу для двух случаев:

- 1) систематическая погрешность из результата измерения не устраняется;
- 2) систематическая погрешность устраняется.

Решение задачи

1) Первый вариант задачи.

Понятно, что истинное значение измеряемой величины имеет погрешность, равную нулю, т.е. необходимо определить вероятность попадания погрешности в интервал $\Delta U_n = -100$, $\Delta U_{\text{г}} = +100 \text{ мВ}$ относительно нуля. Кроме того, известно, что систематическая погрешность представляет собой математическое ожидание реального закона распределения погрешности, т.е. $M[\Delta U] = \Delta U_{\text{сист}} = +20 \text{ мВ}$. Вероятность попадания в требуемый интервал определяется выражением

$$P[\Delta U_n < \Delta U < \Delta U_{\text{г}}] = \int_{\Delta U_n}^{\Delta U_{\text{г}}} p(x) dx,$$

а для нормального закона распределения

$$\begin{aligned} P &= F\left(\frac{\Delta U_{\text{г}} - M}{S}\right) - F\left(\frac{\Delta U_n - M}{S}\right) = \\ &= F\left(\frac{100 - 20}{40}\right) - F\left(\frac{-100 - 20}{40}\right) = F(2) - F(-3), \end{aligned}$$

где F — интегральная функция нормированного нормального распределения. Из соответствующей таблицы П.1 Приложения найдем, что $F(2) = 0,9773$; $F(-3) = 0,00135$, тогда

$$P = 0,9773 - 0,00135 = 0,97595.$$

2) Второй вариант задачи.

При устранении систематической погрешности математическое ожидание становится равным нулю, т.е. $M[\Delta U] = 0$ и интервал становится симметричным, т.е. $\Delta U = \pm 100 \text{ мВ}$. Тогда

$$P = F\left(\frac{+100}{40}\right) - F\left(\frac{-100}{40}\right) = 0,9938 - 0,0062 = 0,9876.$$

Задача 5

При измерении сопротивления получены следующие оценки результата измерения и погрешностей: $\bar{R} = 152,84 \text{ Ом}$, составляющие НСП $\theta_1 = 1,2 \text{ Ом}$; $\theta_2 = 1,0 \text{ Ом}$; $\theta_3 = 0,8 \text{ Ом}$, составляющие нормально распределенной случайной погрешности $S_1 = 0,8 \text{ Ом}$; $S_2 = 0,6 \text{ Ом}$.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0,95$.

Решение задачи

Для определения общей погрешности измерения необходимо просуммировать отдельно составляющие систематической погрешности θ_i , отдельно составляющие случайной погрешности S_i и затем сложить полученные суммарные значения НСП и случайной погрешности в соответствии с правилами суммирования погрешностей. Тогда границы систематической погрешности

$$\begin{aligned}\theta_{\Sigma}(P_d) &= k(P_d) \sqrt{\sum_{i=1}^3 \theta_i^2} = k(0,95) \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2} = \\ &= 1,1 \sqrt{1,2^2 + 1,0^2 + 0,8^2} = 1,95 \text{ Ом},\end{aligned}$$

а СКП систематической погрешности

$$S_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \frac{\theta_i^2}{3}} = \sqrt{\frac{1,2^2 + 1,0^2 + 0,8^2}{3}} = \sqrt{\frac{3,08}{3}} = 1.$$

В условии задачи отсутствует указание величин коэффициента корреляции, следовательно, составляющие случайной погрешности некоррелированы (независимы) и суммарная СКП:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 S_i^2} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} = \sqrt{0,8^2 + 0,6^2} = 1 \text{ Ом}.$$

Границы доверительного интервала случайной погрешности $\varepsilon_{\Sigma} = t_n(P_D) \cdot S_{\Sigma} = 1,96 \cdot 1 = 1,96$, где $t_n(P_D)$ — коэффициент нормального закона распределения.

Далее необходимо сложить систематическую и случайные составляющие погрешности. Сначала определяем соотношение

$$\theta_{\Sigma} / S_{\Sigma} = \frac{1,95}{1} = 1,95, \text{ т.е. } 0,8 < \theta_{\Sigma} / S_{\Sigma} < 8.$$

Тогда

$$\Delta R_{\text{общ}}(P_D) = K_{\Sigma} \cdot S_{\text{общ}}, \text{ где } K_{\Sigma} = \frac{\varepsilon_{\Sigma} + \theta_{\Sigma}}{\varepsilon_{\Sigma} + S_{\theta}} = \frac{1,96 + 1,95}{1 + 1} = 1,95.$$

$$S_{\text{общ}} = \sqrt{S_{\Sigma}^2 + S_{\theta}^2} = \sqrt{1^2 + 1^2} = 1,41 \text{ и}$$

$$\Delta R_{\text{общ}}(0,95) = 1,95 \cdot 1,41 = 2,7495 \text{ Ом}.$$

Результат измерения с учетом правил округления погрешности и результата запишется в следующем виде

$$R = \bar{R} \pm \Delta R_{\text{общ}}, \quad P_D, \text{ т.е. } R = (152,8 \pm 2,7) \text{ Ом}, \quad P_D = 0,95.$$

Задача 6

Проведено 10 измерений емкости конденсатора. Получена оценка математического ожидания $\bar{C} = 125,54 \text{ нФ}$; СКП отдельного измерения $S = 1,2 \text{ нФ}$. Определить границы доверительного интервала погрешности при доверительной вероятности $P_D = 0,95$. Записать результат измерения.

Решение задачи

Границы доверительного интервала погрешности результата многократных измерений при заданной P_D и n определяются выражением

$$\varepsilon_{\bar{X}}(P_D) = t_S(P_D, n) \cdot S_{\bar{X}} = t_S(P_D, n) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}},$$

где $t_S(P_D, n)$ — коэффициент Стьюдента (находится из таблицы П.3 Приложения); $S_{\bar{X}}$ — СКП результата измерения; S — СКП отдельного измерения. Применительно к нашей задаче имеем

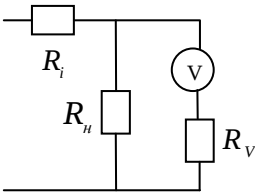
$$\varepsilon_{\bar{C}}(P_D = 0,95) = t_S(0,95;10) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,262, \frac{1,2}{\sqrt{10}} = 0,859 \text{ нФ}.$$

Результат измерения может быть записан в следующем виде $C = \bar{C} \pm \varepsilon_{\bar{C}}$; $P_D = \dots$; $n = \dots$, тогда с учетом правил округления погрешности и результата измерения

$$C = (125,5 \pm 0,9) \text{ нФ}; \quad P_D = 0,95; \quad n = 10.$$

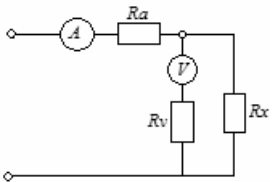
4.2.2 Задачи для самостоятельного решения

1. В цепи, содержащей источник напряжения U с внутренним сопротивлением R_i и сопротивлением нагрузки R_n , измеряется падение напряжения на сопротивлении R_n вольтметром V с внутренним (входным) сопротивлением R_V .



Определить абсолютную и относительную погрешности измерения за счет конечного значения R_V . Классифицировать измерение и погрешность. Определить поправку, необходимую для устранения погрешности.

2. Методом амперметра-вольтметра по приведенной схеме измеряется сопротивление R_X . Показания приборов $U_V = 10 \text{ В}$, $I_A = 1 \text{ А}$, $R_A = 1 \text{ Ом}$, $R_V = 1000 \text{ Ом}$.

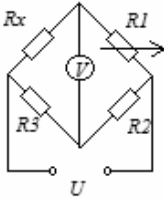


Определить результат измерения, абсолютную и относительную погрешности измерения, исправленный результат измерения.

3. Известно, что для случайной погрешности измерения силы тока, равномерно распределенной с нулевым математическим ожиданием, границы доверительного интервала при доверительной вероятности $P_D = 0,8$ равны $\pm 10 \text{ мА}$.

Определить максимально возможные границы интервала погрешности и среднеквадратическое отклонение погрешности.

4. Сопротивление R_x измеряется мостовым методом.



В четырехплечем мосту номинальные значения резисторов $R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$. При равновесии моста сопротивление образцового резистора $R_1 = 100,8 \text{ Ом}$. После перемены R_x и R_1 местами (для устранения погрешности за счет отклонения реальных значений R_2 и R_3 от их номинальных значений) равновесие моста достигается при $R_1^* = 100,2 \text{ Ом}$.

Определить действительные значения R_x и соотношения R_2 / R_3 , классифицировать измерение, метод измерения и метод устранения погрешности.

5. При многократных измерениях сопротивления резистора с объемом выборки $n = 12$ получена оценка СКП отдельного измерения $S = 1 \text{ Ом}$. Определить границы доверительного интервала погрешности результата измерений $\bar{R} = 252,73 \text{ Ом}$ при доверительной вероятности $P_d = 0,95$. Записать результат измерения.

6. При измерении напряжения милливольтметром с СКП $S = 1,0 \text{ мВ}$ по результатам 10 наблюдений получены границы доверительного интервала погрешности $\varepsilon_{\bar{U}} = \pm 0,8 \text{ мВ}$. Сколько потребуется наблюдений для обеспечения такой же погрешности при той же доверительной вероятности при использовании другого прибора с СКП $S = 1,5 \text{ мВ}$?

7. При измерении силы тока получено: $\bar{I} = 10,2 \text{ мА}$; составляющие случайной погрешности $S_1 = 0,5 \text{ мА}$, $S_2 = 0,6 \text{ мА}$, $S_3 = 0,4 \text{ мА}$; составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 1 \text{ мА}$, $\theta_2 = 0,5 \text{ мА}$. Записать результаты измерения при $P_d = 0,9$.

4.3 Обработка результатов измерений

4.3.1 Примеры решения задач

Задача 1

Измерения напряжения производятся тремя вольтметрами с одинаковым пределом шкалы $U_{шк} = 10 \text{ В}$. Все три вольтметра при измерении показали один и тот же результат $U_{изм} = 7 \text{ В}$. Классы точности приборов различны и обозначены следующим образом: 2,0; $\textcircled{2,0}$; 2,0/1,0.

Определить погрешности измерения напряжения каждым вольтметром и записать результаты измерений.

Решение задачи

Для первого вольтметра абсолютная основная погрешность (границы интервала погрешности) определяется выражением

$$\Delta U_1 = \frac{\gamma_1 \cdot U_{шк}}{100\%} = \frac{2,0 \cdot 10}{100} = 0,2 \text{ В}.$$

Результат измерения запишется как $U_{изм1} = (7 \pm 0,2) \text{ В}$.

Для второго вольтметра погрешность

$$\Delta U_2 = \frac{\gamma_2 \cdot U_{изм}}{100\%} = \frac{2,0 \cdot 7}{100} = 0,14 \text{ В}.$$

А результат $U_{изм2} = (7 \pm 0,14) \text{ В}$.

Для третьего вольтметра относительная погрешность

$\delta = c + d(U_{шк}/U_{изм} - 1) = 2,0 + 1,0(10/7 - 1) = 2,429\%$ (c и d имеют размерность %). Абсолютная погрешность

$$\Delta U = \frac{\delta \cdot U_{изм}}{100\%} = \frac{2,429 \cdot 7}{100} = 0,17 \text{ В}.$$

Результат измерения $U_{изм3} = (7 \pm 0,17) \text{ В}$.

Задача 2

При измерении напряжения вольтметр класса точности $\gamma = 1,0$ с пределом шкалы $U_{шк} = 100 \text{ В}$ показал $U_{изм} = 85,92 \text{ В}$. Измерение проводилось при температуре $t^0 = 50^\circ \text{C}$ и напряжении питания прибора $U_{пит} = 240 \text{ В}$.

Из нормативно-технической документации на прибор известно: нормальные условия эксплуатации прибора $t_0^0 = 20^\circ\text{C}$; $U_{\text{пит}} = 220\text{ В}$; дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20°C ; дополнительная погрешность за счет напряжения питания не превышает основной при изменении напряжения питания на каждые 10 В .

Записать результат измерения.

Решение задачи

Запись результата измерения должна содержать сам результат, погрешность результата и вероятность этой погрешности. Результат измерения известен, следовательно, необходимо определить общую (полную, эксплуатационную) погрешность измерения. Она будет состоять из основной погрешности (определяется классом точности) и двух дополнительных погрешностей (за счет отклонения температуры и напряжения питания от нормальных значений).

Основная погрешность, согласно обозначению класса точности,

$$\Delta U_{\text{осн}} = \frac{\gamma \cdot U_{\text{шк}}}{100} = \frac{1,0 \cdot 100}{100} = 1\text{ В}.$$

Дополнительная температурная погрешность

$$\Delta U_{\text{донт}} = K_t \cdot \Delta U_{\text{осн}} \frac{t_{\text{изм}}^0 - t_0^0}{t_{\text{нормир}}^0} = 0,5 \cdot 1 \cdot \frac{50 - 20}{20} = 0,75\text{ В}.$$

Здесь коэффициент влияния $K = 0,5$ (из условия — «половины основной»), $t_{\text{нормир}}^0 = 20^\circ\text{C}$ (из условия — «на каждые 20°C »). Аналогично, дополнительная погрешность за счет напряжения питания

$$\Delta U_{\text{доп,пит}} = K_{\text{пит}} \cdot \Delta U_{\text{осн}} \frac{U_{\text{пит,изм}} - U_{\text{пит0}}}{U_{\text{пит,норм}}} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{240 - 220}{10} = 2\text{ В}.$$

Далее необходимо просуммировать все эти составляющие погрешности, чтобы получить общую погрешность измерения.

Известно, что основная погрешность, определяемая паспортными характеристиками прибора, представляет собой границы интервала погрешности и считается распределенной равновероятно. В этом случае, согласно правилам суммирования погрешностей, границы интервала полной погрешности определяются

выражением $\theta_{\Sigma}(P_D) = k(P_D) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^2}$, где $k(P_D)$ — коэффициент,

зависящий от выбранной доверительной вероятности P_D , а

θ_i — границы интервалов отдельных составляющих погрешности. Доверительная вероятность нам в условии задачи не задана, следовательно, необходимо воспользоваться известными рекомендациями, считая, что данные измерения представляют собой обычные технические электрорадиоизмерения. Тогда рекомендуемое $P_D = 0,95$ и $k(0,95) = 1,1$.

Применительно к нашей задаче полная погрешность измерения

$$\Delta U_{\text{общ}}(0,95) = k(0,95) \sqrt{\sum_{i=1}^3 \Delta U_i^2} = 1,1 \sqrt{\Delta U_{\text{осн}}^2 + \Delta U_{\text{донт}}^2 + \Delta U_{\text{дон, num}}^2}$$

или

$$\Delta U_{\text{общ}} = 1,1 \sqrt{1^2 + 0,75^2 + 2^2} = 2,5943 \text{ В}.$$

Результат измерения, с учетом правил округления,

$$U_{\text{изм}} = (85,9 \pm 2,6) \text{ В}; P_D = 0,95.$$

Задача 3

При многократных измерениях сопротивления резистора получены следующие результаты: 10; 10,1; 10,2; 9,8; 9,9; 10; 9,9; 10,1; 10,8; 10 Ом.

Записать результат измерения при доверительной вероятности 0,95.

Решение задачи

Подсчитываем количество наблюдений: $n = 10$. Так как при $n < 15 - 20$ невозможно идентифицировать закон распре-

ления, то этот пункт из стандартного алгоритма обработки многократных измерений опускаем. Используем упрощенный алгоритм обработки, который начинается с пункта:

1) *Удаление промахов*. Условие промаха

$$\left| \frac{X_i - \bar{X}}{S} \right| > t_{cp}(P_d, n),$$

где X_i — подозрительный на наличие промаха результат измерения из полученной выборки; $t_{cp}(P_d, n)$ — коэффициент допускаемых нормированных отклонений (границы интервала цензурирования), выбирается при заданных P_d и n из таблицы П.2 Приложения. Определяем для нашей задачи

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^{10} \frac{R_i}{10} = 10,08 \text{ Ом}; \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_i - \bar{R})^2}{10 - 1}} = 0,27 \text{ Ом}.$$

Зададимся доверительной вероятностью $P_d = 0,95$ (рекомендуется брать 0,9—0,99) и из таблицы П.2 Приложения найдем $t_{cp}(0,95; 10) = 2,414$. Промахи удаляют итеративно, по одному. Начинают проверку R_i с величины, наиболее отстоящей от $\bar{R}$. В нашей задаче это $R_i = 10,8$. Тогда

$$\frac{10,8 - 10,08}{0,27} = 2,667 > t_{cp} = 2,414.$$

Условие промаха выполняется, то есть $R_i = 10,8$ — промах. Его удаляем из ряда многократных измерений. Теперь $n = 9$. Продолжаем проверку на наличие промахов. Пересчитываем вновь значения

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^9 \frac{R_i}{9} = 10 \text{ Ом} \text{ и } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 (R_i - \bar{R})^2}{9 - 1}} = 0,123 \text{ Ом}.$$

Опять находим наиболее удаленные от $\bar{R}$ значения R_i . Это 9,8 и 10,2, причем они равноудалены от $\bar{R}$. Проверяем, являются ли они промахами. По таблице определяем новые границы цензорского интервала $t_{cp}(0,95;9) = 2,349$. Условие промаха

$$\left| \frac{10,2 - 10}{0,123} \right| = 1,626 < 2,349 \text{ не выполняется, то есть } R_i = 10,2, \text{ и}$$

$R_i = 9,8$ (т.к. цензорский интервал симметричен) не являются промахами. Все остальные R_i расположены к $\bar{R}$ еще ближе, следовательно, тем более не являются промахами, их индивидуальная проверка нецелесообразна.

2) *Результат измерения, погрешность.* За результат измерения принимается среднее арифметическое ряда наблюдений без промахов $\bar{R} = 10$ Ом. Границы доверительного интервала погрешности

$$\varepsilon = t_S(P_D, n) \cdot S_{\bar{R}} = t_S(P_D, n) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Здесь $t_S(P_D, n)$ — коэффициент Стьюдента, выбирается из таблицы П.3 Приложения. В нашем случае $t_S(0,95,9) = 2,306$. Тогда

$$\varepsilon = 2,306 \frac{0,123}{\sqrt{9}} = 0,0943 \text{ Ом}.$$

Результат измерения в соответствии с правилами представления результата запишем следующим образом:

$$R_{изм} = (10 \pm 0,09) \text{ Ом}; \quad P_D = 0,95; \quad n = 9.$$

Задача 4

Определить результат и погрешность косвенного измерения напряжения $U = I \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3} - U_0$ по результатам прямых измерений: $R_1 = (100 \pm 1) \text{ Ом}; \quad R_2 = (51 \pm 0,5) \text{ Ом}; \quad R_3 = 2,4 \text{ Ом},$

$\delta R_3 = \pm 1 \%$. $U_0 = 2 B$ — измерено вольтметром с пределом шкалы $U_{\text{шк}} = 3 B$, класса точности $\gamma = 1,0$. $I = 9 mA$ измерено амперметром класса точности $\gamma = \textcircled{1,5}$ с пределом шкалы $I_{\text{шк}} = 10 mA$. Записать результат измерения.

Решение задачи

Известно, что результат косвенных измерений определяется представленной функциональной зависимостью при подстановке в нее результатов измерений аргументов. В нашем случае

$$U = I \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3} - U_0 = 9 \cdot 10^{-3} \frac{(100 - 51)^2}{2,4} - 2 = 7,0037 B.$$

В общем виде погрешность косвенного измерения $\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i$ где X_i — аргументы функции F , ΔX_i — их абсолютные погрешности, y — измеряемая косвенным образом величина, $\frac{\partial F}{\partial X_i}$ — частные производные функции по соответствующим аргументам.

Определим абсолютные погрешности аргументов заданной зависимости:

$$\Delta R_1 = \pm 1 OM; \Delta R_2 = \pm 0,5 OM, \Delta R_3 = \frac{\delta R_3 \cdot R_3}{100\%} = \frac{1 \cdot 2,4}{100} = 0,024 OM,$$

$$\Delta U = \frac{\gamma_u \cdot U_{\text{шк}}}{100\%} = \frac{1 \cdot 3}{100} = 0,03 B, \Delta I = \frac{\gamma_I \cdot I_{\text{шк}}}{100\%} = \frac{1,5 \cdot 9}{100} = 0,135 mA.$$

Частные производные:

$$\frac{\partial U}{\partial I} = \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3} = \frac{(100 - 51)^2}{2,4} = 1000,42,$$

$$\frac{\partial U}{\partial R_1} = I \frac{2(R_1 - R_2)}{R_3} = 9 \cdot 10^{-3} \frac{2(100 - 51)}{2,4} = 0,3675,$$

$$\frac{\partial U}{\partial R_2} = -I \frac{2(R_1 - R_2)}{R_3} = -0,3675,$$

$$\frac{\partial U}{\partial R_3} = -I \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3^2} = -9 \cdot 10^{-3} \frac{(100 - 51)^2}{2,4^2} = -3,7516,$$

$$\frac{\partial U}{\partial U_0} = -1.$$

Так как погрешности аргументов заданы границами интервалов, которые определены, в том числе, и с помощью измерительных приборов, то можно считать, что эти погрешности распределены равномерно. Тогда, в соответствии с правилами суммирования погрешностей, общая погрешность при заданной доверительной вероятности P_d может быть определена выражением

$$\Delta U(P_d) = \kappa(P_d) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial U}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i \right)^2}.$$

Величина доверительной вероятности в условии задачи не указана. Необходимо воспользоваться известными рекомендациями, в которых для технических электрорадиоизмерений применяется $P_d = 0,95$. Тогда

$$\begin{aligned} \Delta U(0,95) &= \kappa(0,95) \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial I} \Delta I \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_1} \Delta R_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_2} \Delta R_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_3} \Delta R_3 \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial U_0} \Delta U_0 \right)^2} = \\ &= 1,1 \sqrt{(1000,42 \cdot 0,135 \cdot 10^{-3})^2 + (0,3675 \cdot 1)^2 + (-0,3675 \cdot 0,5)^2 + (-3,7516 \cdot 0,024)^2 + (-1 \cdot 0,03)^2} = \\ &= 0,4871 \text{ В} \end{aligned}$$

Запишем результат измерения с учетом правил округления

$$U = (7,0 \pm 0,5) \text{ В}, \quad P_d = 0,95.$$

Задача 5

Емкость $C = C_2 - C_1$ определена по результатам прямых измерений $C_1 = 94,8 \text{ нФ}$, $C_2 = 102,3 \text{ нФ}$. Известно, что неисключенные систематические погрешности $\theta_{C1} = 0,9 \text{ нФ}$,

$\theta_{C_2} = 1,1 \text{ нФ}$, а среднеквадратические отклонения случайных погрешностей, распределенных по нормальному закону, — $S_{C_1} = S_{C_2} = 0,5 \text{ нФ}$, коэффициент корреляции $r_{12} = 0$.

Записать результат измерения.

Решение задачи

Результат косвенного измерения определяется подстановкой результатов прямых измерений аргументов в указанную функциональную зависимость, т.е.

$$C = C_2 - C_1 = 102,3 - 94,8 = 7,5 \text{ нФ}.$$

Так как погрешности аргументов содержат и систематическую, и случайную составляющие, то для нахождения общей погрешности измерения необходимо сначала просуммировать отдельно эти погрешности по группам.

Согласно правилам суммирования погрешностей *суммарная систематическая погрешность* косвенного измерения при доверительной вероятности P_d

$$\theta_{\Sigma}(P_d) = \kappa(P_d) \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} \theta_i \right)^2}.$$

Для нашей задачи при принятой для технических измерений доверительной вероятности $P_d = 0,95$

$$\begin{aligned} \theta_{\Sigma} &= \kappa(0,95) \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial C_1} \theta_{C_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial C_2} \theta_{C_2} \right)^2} = \\ &= 1,1 \sqrt{(-1 \cdot 0,9)^2 + (1 \cdot 1,1)^2} = 1,563 \text{ нФ}. \end{aligned}$$

Среднеквадратическое отклонение систематической погрешности

$$\begin{aligned} S_{\theta} &= \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial C}{\partial C_i} \theta_{Ci} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{3} [(-1 \cdot 0,9)^2 + (1 \cdot 1,1)^2]} = 0,821 \text{ нФ}. \end{aligned}$$

Суммарная случайная погрешность в общем случае определяется выражением:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} S_i\right)^2 + 2 \sum_{i < j} \frac{\partial F}{\partial X_i} S_i \frac{\partial F}{\partial X_j} S_j r_{ij}}.$$

Для нашей задачи

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial C}{\partial C_i} S_{Ci}\right)^2} = \sqrt{(-1 \cdot 0,5)^2 + (1 \cdot 0,5)^2} = 0,707 \text{ нФ}.$$

Границы доверительного интервала случайной погрешности

$$\epsilon_{\Sigma} = t_n(P_d = 0,95) \cdot S_{\Sigma} = 1,96 \cdot 0,707 = 1,386 \text{ нФ}.$$

Здесь $t_n(P_d)$ — коэффициент нормального распределения (согласно условию задачи случайные погрешности C_1 и C_2 распределены нормально, следовательно, и суммарная случайная погрешность также распределена нормально).

Для определения общей погрешности найдем соотношение $\theta_{\Sigma} / S_{\Sigma} = 1,563 / 0,707 = 2,21$. Так как $0,8 < \theta_{\Sigma} / S_{\Sigma} < 8$, то в соответствии с правилами суммирования погрешностей общая погрешность определится как $\Delta C_{\text{общ}}(P_d) = K_{\Sigma} \cdot S_{\text{общ}}$, где

$$S_{\text{общ}} = \sqrt{S_{\Sigma}^2 + S_{\theta}^2} = \sqrt{0,707^2 + 0,821^2} = 1,083 \text{ нФ},$$

$$K_{\Sigma} = \frac{\epsilon_{\Sigma} + \theta_{\Sigma}}{S_{\Sigma} + S_{\theta}} = \frac{1,386 + 1,563}{0,707 + 0,821} = 1,93.$$

Тогда

$$\Delta C_{\text{общ}}(0,95) = 1,93 \cdot 1,083 = 2,09 \text{ нФ}.$$

Результат измерения можно записать в следующем виде

$$C = (7,5 \pm 2,1) \text{ нФ}, \quad P_d = 0,95.$$

Задача 6

Частота f измеряется косвенно в соответствии с выражением $f = 1/2\pi RC$. Известно, что относительные случайные, нормально распределенные погрешности измерения величин R

и C соответственно $\delta R = \pm 1,5 \%$, $\delta C = \pm 0,5 \%$. Определить значение относительной погрешности δf .

Решение задачи

По определению относительная погрешность $\delta f = \Delta f / f$. Так как доверительные вероятности, при которых оценивались интервалы погрешностей δR и δC в условии задачи не указаны, то можно считать, что эти вероятности одинаковы. Тогда для независимых нормально распределенных случайных погрешностей можно напрямую суммировать границы интервалов погрешностей в соответствии с выражением

$$\Delta f_{cl} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \Delta X_{i,cl} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial R} \Delta R \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C} \Delta C \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{2\pi R^2 C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{2\pi RC^2} \right)^2}.$$

Относительная погрешность

$$\begin{aligned} \delta f = \frac{\Delta f}{f} &= \frac{1}{2\pi RC} \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{2\pi R^2 C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{2\pi RC^2} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\delta R^2 + \delta C^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,5^2} = 1,58\%. \end{aligned}$$

4.3.2 Задачи для самостоятельного решения

1) При измерении силы тока амперметр класса точности $\gamma = 2.0$ с пределом шкалы $I_{шк} = 10 \text{ мА}$ показал $I_{изм} = 7.29 \text{ мА}$. Измерения проводились при температуре $t^0 = 40^\circ \text{C}$. Из паспортных данных прибора известно, что нормальные условия измерения $t_0^0 = 20^\circ \text{C}$ и дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20° . Записать результат измерения.

2) При многократных измерениях ёмкости получены следующие результаты:

40; 40.4; 40.8; 39.2; 39.6; 40; 39.6; 40.4; 44.2; 40 нФ .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

3) Определить результат и абсолютную погрешность косвенного измерения реактивной мощности $Q = U \times I \sin \varphi$ по результатам прямых измерений:

показания вольтметра с классом точности 2.5 с пределом измерения 100 В , $U = 75 \text{ В}$.

– показания амперметра класса точности $\textcircled{1.0}$ с пределом измерения 10 А , $I = 4 \text{ А}$, $\varphi = 30^\circ \pm 1^\circ$.

Записать результат измерения.

4) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = I \cdot R_1 \cdot R_2 / R_3$

В результате прямых измерений получено, что $R_1 = (100 \pm 1) \text{ Ом}$, $R_2 = (1000 \pm 10) \text{ Ом}$; $R_3 = 200 \text{ Ом}$, $\delta R_3 = \pm 1\%$. Амперметр класса точности $\textcircled{0.5}$ с пределом измерения 30 мА показал $I = 20 \text{ мА}$. Записать результат измерения.

5) При многократных измерениях силы тока получены следующие результаты:

20; 20.2; 20.4; 19.6; 19.8; 20; 19.8; 20.2; 18.0; 20 мА .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0.9$.

6) Построить графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей от измеряемой мощности для ваттметра с пределом шкалы $P_{\text{шк}} = 100 \text{ Вт}$, класса точности 2.5. Количество расчетных точек графика ≥ 4 . Повторить задачу для прибора с классом точности 1.5/0.5.

5 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Контрольная работа состоит из 5 задач (по одной в каждой теме). Номер варианта выбирается из таблицы 5.1

Таблица 5.1

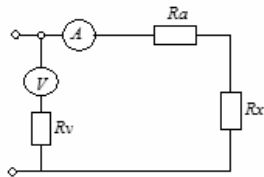
№ раздела	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.2	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
5.3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
5.5	2	3	4	5	6	10	8	7	6	5

Окончание табл. 5.1

№ раздела	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.2	5	4	3	2	1	10	9	8	7	6
5.3	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
5.4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.5	4	3	2	1	7	8	1	9	9	10

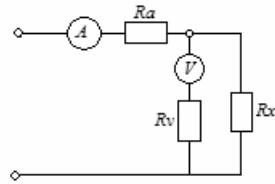
5.1 Систематические и случайные погрешности

1) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_x (см. рисунок). При этом R_x определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $U_V = 9\text{ В}$, $R_A = 3\text{ Ом}$, $R_V = 10\text{ кОм}$.



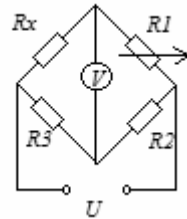
Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения R_x . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

2) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_x (см. рисунок). При этом R_x определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $I_A = 0,1 \text{ A}$,



$U_V = 1 \text{ В}$, $R_A = 10 \text{ Ом}$, $R_V = 1 \text{ кОм}$. Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения R_x . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

3) Измерения сопротивления R_x проводятся мостовым методом (см. рисунок). Меняя переменное образцовое сопротивление R_1 , добиваются баланса (равновесия) моста, т.е. нулевых показаний вольтметра. При этом выполняется условие баланса — произведения противоположных плеч моста равны между собой.



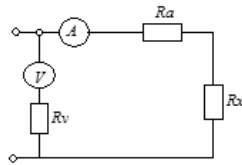
Для данной конфигурации моста $R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$. Отсюда, при известных R_1 , R_2 , R_3 , находят R_x . При измерении возникает погрешность, обусловленная отличием сопротивлений вспомогательных плеч R_2 и R_3 от их номинальных значений. Для устранения этой погрешности производят второе измерение, поменяв местами R_x и R_1 . Известно, что номинальные значения $R_2 = R_3 = 1000 \text{ Ом}$. Равновесие моста при первом измерении достигается при $R'_1 = 1000,6 \text{ Ом}$, при втором измерении $R''_1 = 1000,2 \text{ Ом}$. Определить действительное значение R_x и соотношение плеч моста $n = R_2 / R_3$. Классифицировать вид и метод измерения, погрешность и метод устранения погрешности.

4) Случайная погрешность измерения напряжения распределена по нормальному закону. При обработке результатов измерений получены следующие оценки погрешности: систематическая погрешность $\Delta U_c = +20 \text{ мВ}$, случайная погрешность

(СКП) — $S = 20 \text{ мВ}$. Определить вероятность того, что погрешность измерения находится в пределах $\Delta U = \pm 60 \text{ мВ}$.

5) Известно, что границы доверительного интервала погрешности измерения частоты равны $\pm 10 \text{ Гц}$ при доверительной вероятности $P_D = 0,75$. Считая, что погрешность распределена по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием, определить границы интервала с доверительной вероятностью $P_D = 0,9$.

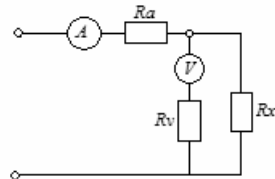
6) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_x (см. рисунок). При этом R_x определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $I_A = 1 \text{ мА}$, $U_V = 1 \text{ В}$, $R_A = 5 \text{ Ом}$,



$R_V = 100 \text{ кОм}$. Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения R_x . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

7) Известно, что 75% погрешностей результатов измерения индуктивности не превосходят $\pm 2 \text{ мкГн}$ при доверительной вероятности $P_D = 0,5$. Считая, что погрешность распределена по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием, определить границы интервала с доверительной вероятностью $P_D = 0,95$.

8) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_x (см. рисунок). При этом R_x определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $I_A = 100 \text{ мА}$, $U_V = 5 \text{ В}$, $R_A = 50 \text{ Ом}$,



$R_V = 1000 \text{ Ом}$. Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения R_x . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

9) Известно, что границы доверительного интервала погрешности измерения напряжения равны $\pm 25 \text{ мВ}$ при доверительной вероятности $P_D = 0,8$. Считая, что погрешность распределена по равновероятному закону с нулевым математическим ожиданием, определить границы интервала с доверительной вероятностью $P_D = 0,95$.

10) В результате поверки вольтметра установлено, что 60% погрешностей результатов измерений, произведенных с его помощью, не превосходит $\pm 20 \text{ мВ}$. Считая, что погрешность распределена по равномерному закону с нулевым математическим ожиданием, определить среднюю квадратическую погрешность S .

5.2 Суммирование погрешностей

1) При измерении напряжения получено: среднее арифметическое многократных измерений $\bar{U} = 115,7 \text{ мВ}$; составляющие СКП $S_1 = 1,2 \text{ мВ}$, $S_2 = 0,8 \text{ мВ}$, $S_3 = 1,0 \text{ мВ}$; составляющие НСП $\theta_1 = 0,8 \text{ мВ}$, $\theta_2 = 0,6 \text{ мВ}$. Записать результаты измерения при $P_D = 0,9$.

2) При измерении частоты получено: $\bar{f} = 110,3 \text{ кГц}$, составляющие СКП $S_1 = 2,0 \text{ кГц}$, $S_2 = 1 \text{ кГц}$; составляющие НСП $\theta_1 = 1,2 \text{ кГц}$, $\theta_2 = 0,8 \text{ кГц}$, $\theta_3 = 2 \text{ кГц}$. Записать результат измерения при $P_D = 0,95$.

3) При измерении емкости получены следующие результаты: $C' = 174,5 \text{ пФ}$; составляющие НСП $\theta_1 = 2,5 \text{ пФ}$, $\theta_2 = 1,6 \text{ пФ}$; составляющие СКП $S_1 = 1,0 \text{ пФ}$, $S_2 = 0,8 \text{ пФ}$, $S_3 = 1,2 \text{ пФ}$. Записать результаты измерения при $P_D = 0,9$.

4) При измерении индуктивности получены следующие результаты: $L' = 52,4 \text{ мкГн}$; составляющие случайной погрешности $S_1 = 2,2 \text{ мкГн}$, $S_2 = 1,7 \text{ мкГн}$; составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 3,0 \text{ мкГн}$, $\theta_2 = 2,5 \text{ мкГн}$, $\theta_3 = 0,8 \text{ мкГн}$. Записать результаты измерения при $P_D = 0,9$.

5) При измерении напряжения вольтметром класса точности 1,0 с пределом шкалы 100 В получено показание $U = 82,5 \text{ В}$. Из паспортных данных вольтметра определено, что среднеквадратическая погрешность прибора равна 0,5 В и для рабочих ус-

ловий измерения дополнительная температурная погрешность не превышает основной, а дополнительная погрешность за счет напряжения питания равна 0,8 основной погрешности вольтметра. Записать результат измерения.

6) Показания цифрового омметра с пределом шкалы 1000 Ом — $R = 910$ Ом. Из паспортных данных прибора известно, что систематическая погрешность составляет $\pm(0,2\% + \text{стоимость 1 единицы младшего разряда кода } R)$, дополнительная температурная погрешность $\Delta R_t = \pm 1$ Ом, среднеквадратическое отклонение случайной погрешности $S = 0,7$ Ом. Записать результат измерения.

7) При измерении напряжения получены следующие результаты: $\bar{U} = 8,95$ В. Составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 0,7$ В, $\theta_2 = 0,5$ В. Границы первой составляющей случайной погрешности $\varepsilon_1 = \pm 0,98$ В (при $P_d = 0,9$), границы второй составляющей случайной погрешности $\varepsilon_2 = \pm 1$ В (при $P_d = 0,95$). Случайные погрешности распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием. Записать результат измерения при $P_d = 0,95$.

8) Показания цифрового миллиамперметра с пределом шкалы 100 мА $I = 85,4$ мА. Из паспортных данных прибора известно, что основная погрешность составляет $\pm(0,3\% + \text{стоимость 1 единицы младшего разряда кода } I_{\text{изм}})$; дополнительная температурная погрешность равна половине основной: среднеквадратическая погрешность $S = 0,15$ мА. Записать результат измерения.

9) При измерении фазового сдвига сигналов получены следующие результаты: $\phi' = 65,7^\circ$; составляющие случайной погрешности $S_1 = 2,5^\circ$, $S_2 = 1,4^\circ$; систематические погрешности $\theta_1 = 2,5^\circ$, $\theta_2 = 2,1^\circ$. Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0,9$.

10) При измерении мощности сигнала были получены следующие результаты: $P' = 25,2$ мВт; составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 0,4$ мВт, $\theta_2 = 0,3$ мВт; составляющие случайной погрешности в виде границ доверительных интервалов $\varepsilon_{0,95} = 0,15$ мВт, $\varepsilon_{0,9} = 0,1$ мВт. Случайные погрешности распределены по нормальному закону. Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0,95$.

5.3 Обработка однократных прямых измерений

Погрешности СИ

1) Вольтметр имеет предел измерения $U_{шк1} = 1 В$, класс точности $\gamma_1 = 1.0$, входное сопротивление $R_v = 1 кОм$.

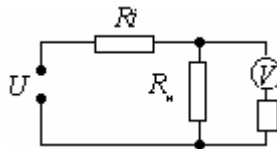
Рассчитать величину и допустимую относительную погрешность добавочного сопротивления, необходимого для изменения предела измерения до $U_{шк2} = 10 В$ и достижения общего класса точности $\gamma_2 = 0.5$.

2) Построить графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей от измеряемого фазового сдвига для фазометра с пределом шкалы $\phi_{шк} = 180^\circ$, класса точности $1.0/0.5$. Количество расчетных точек графика ≥ 4 .

3) При измерении напряжения вольтметр класса точности $\gamma = 1.0$ с пределом шкалы $U_{шк} = 10 В$ показал $U_{изм} = 8.59 В$. Измерения проводились при температуре $t_{шк}^0 = 50^\circ C$. Из паспортных данных прибора известно, что нормальные условия измерения $t_{норм}^0 = 20^\circ$ и дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20° .

Записать результат измерения.

4) В электрической цепи (см. рисунок) производится измерение падения напряжения на сопротивлении R_n вольтметром V с внутренним сопротивлением R_v , пределом



шкалы $U_{шк}$, класса точности γ . Известно, что $R_i = 100 Ом$; $R_n = 1 кОм$; $U = 10 В$; $R_v = 10 кОм$; $U_{шк} = 10 В$; $\gamma = 2.0$. Вольтметр показывает $U_{изм} = 8.3 В$. Определить абсолютную методическую погрешность, действительное значение падения напряжения. Записать результат измерения.

5) В электрической цепи, содержащей источник напряжения $U = 10 \text{ В}$ и сопротивление нагрузки $R_H = 10 \text{ кОм}$, измеряется ток амперметром с пределом шкалы $I_{\text{шк}} = 1 \text{ мА}$, с классом точности $\gamma = 2.5$, с внутренним сопротивлением $R_A = 1 \text{ кОм}$. Показания прибора $I_{\text{изм}} = 0.98 \text{ мА}$. Определить абсолютную методическую погрешность и действительное значения тока.

Записать результат измерения.

6) При измерении силы тока амперметр класса точности $\gamma = 2.0$ с пределом шкалы $I_{\text{шк}} = 10 \text{ мА}$ показал $I_{\text{изм}} = 7.29 \text{ В}$. Измерения проводились при температуре $t_{\text{шк}}^0 = 40^\circ$. Из паспортных данных прибора известно, что нормальные условия измерения $t_{\text{норм}}^0 = 20^\circ \text{С}$ и дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20° .

Записать результат измерения.

7) Построить графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей от измеряемой мощности для ваттметра с пределом шкалы $P_{\text{шк}} = 100 \text{ Вт}$, класса точности 2.5. Количество расчетных точек графика ≥ 4 .

8) Ток полного отклонения в рамке измерительного механизма $I_H = 0.12 \text{ мА}$. Определить сопротивления шунтов R_1 и R_2 , необходимых для установления пределов измерения 5 и 0.15 мА, если сопротивление $R_A = 125 \text{ Ом}$.

9) Определить величину измеряемого тока, если известно, что погрешность измерения $\Delta I = 1.5 \text{ мА}$, а измерения проводились амперметром с пределом шкалы 100 мА, класса точности 2,0/1,0. Повторить решение этой задачи для прибора с классом точности $(2,0)$.

10) Верхний предел измерения миллиамперметра 100 мА, внутреннее сопротивление 3,3 Ом, класс точности 2,0. Определить величину и допустимую погрешность сопротивления шунта, необходимого для увеличения предела измерения прибора до 300 мА и достижения класса точности прибора 2.5.

5.4 Обработка многократных измерений

1) При многократных измерениях силы тока получены следующие результаты:

20; 20.2; 20.4; 19.6; 19.8; 20; 19.8; 20.2; 21.6; 20 *мА* .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

2) При многократных измерениях ёмкости получены следующие результаты:

40; 40.4; 40.8; 39.2; 39.6; 40; 39.6; 40.4; 43.2; 40 *нФ* .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

3) При многократных измерениях напряжения получены следующие результаты:

25; 25.2; 25.4; 24.6; 24.8; 25; 24.8; 25.2; 25.6; 25 *мкВ* .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

4) При многократных измерениях частоты получены следующие результаты:

10; 10.1; 10.2; 9.8; 9.9; 10; 9.9; 10.1; 9.2; 10 *кГц* .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

5) При многократных измерениях индуктивности получены следующие результаты:

45; 45.4; 45.8; 44.2; 44.6; 45; 44.6; 45.4; 48.2; 45 *мкГн* .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

6) При многократных измерениях сопротивления резистора получены следующие результаты:

10; 10.1; 10.2; 9.8; 9.9; 10; 9.9; 10.1; 10.8; 10 *Ом* .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

7) При многократных измерениях индуктивности получены следующие результаты:

23; 23.2; 23.4; 22.6; 22.8; 23; 22.8; 23.2; 23.6; 23 мГц .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0.99$.

8) При многократных измерениях сопротивления резистора получены следующие результаты:

15; 15.1; 15.2; 14.8; 14.9; 15; 14.9; 15.1; 15.8; 15 Ом .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0.99$.

9) При многократных измерениях частоты получены следующие результаты:

12; 12.1; 12.2; 11.8; 11.9; 12; 11.9; 12.1; 12.9; 12 кГц .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0.9$.

10) При многократных измерениях ёмкости получены следующие результаты:

40; 40.4; 40.8; 39.2; 39.6; 40; 39.6; 40.4; 36.8; 40 нФ .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0.95$.

5.5 Обработка косвенных измерений

1) Проведено измерение напряжения по формуле

$$U = I \left(R_1 + \frac{R_2^2}{R_3} \right).$$
 Показание амперметра с пределом измерения

100 мА , класса точности $\textcircled{1.5}$ $I = 80 \text{ мА}$.

$R_1 = 1 \text{ кОм}$; $\delta R_1 = \pm 2\%$; $R_2 = (100 \pm 1) \text{ Ом}$; $R_3 = (91 \pm 1) \text{ Ом}$.

Определить результат и погрешности косвенного измерения U . Записать результат измерения.

2) Определить результат и абсолютную погрешность косвенного измерения реактивной мощности $Q = U \times I \sin \phi$ по результатам прямых измерений:

– показания вольтметра класса точности 2.5 с пределом измерения 100 В, $U = 75 \text{ В}$;

– показания амперметра класса точности (1.0) с пределом измерения 10 А, $I = 4 \text{ А}$, $\varphi = 30^\circ \pm 1^\circ$.

Записать результат измерения.

3) Измерение сопротивления осуществляется в соответствии с выражением $R_x = \frac{UR_0}{R_0I - U}$. Известно, что $R_0 = 3.0 \text{ кОм}$;

$\delta R_0 = \pm 5\%$. Показание вольтметра класса точности 2.0 с пределом измерения 10 В, $U = 7.5 \text{ В}$. Показания амперметра с классом точности с пределом (2.5) измерения 30 мА, $I = 18 \text{ мА}$.

Определить результат и погрешность косвенного измерения R_x . Записать результат измерения.

4) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = I \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$.

Известно, что $R_1 = (3.0 \pm 0.03) \text{ кОм}$; $R_2 = (5.1 \pm 0.08) \text{ кОм}$.

Амперметр класса точности 0.5 с пределом измерения 100 мА показал 70 мА.

Определить результат и погрешность измерения напряжения. Записать результат измерения.

5) При измерении величины сопротивления применяется формула: $R = \frac{U}{I} + 5R_0$. Показание вольтметра класса точности 2.0 с пределом измерения 1 В, $U = 800 \text{ мВ}$. Показания амперметра класса точности (1.0) с пределом измерения 10 мА, $I = 8 \text{ мА}$, $R_0 = 10 \text{ Ом}$, $\delta R_0 = \pm 5\%$.

Определить абсолютную погрешность косвенного измерения сопротивления. Записать результат измерения.

6) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = I \times R_1 \times \frac{R_2}{R_3}$.

В результате прямых измерений получено, что $R_1 = (100 \pm 1) \text{ Ом}$, $R_2 = (1000 \pm 10) \text{ Ом}$; $R_3 = 200 \text{ Ом}$, $\delta R_3 = \pm 1\%$.

Амперметр класса точности 0.5 с пределом измерения 30 мА показал $I = 20 \text{ мА}$.

Определить результат и абсолютную погрешность измерения напряжения. Записать результат измерения.

7) Измерение сопротивления осуществляется в соответствии с выражением: $R = \frac{U - I \times R_0}{I}$. Показание вольтметра класса

точности $\textcircled{1.0}$ с пределом измерения 10 В, $U = 9 \text{ В}$. Показание амперметра класса точности 2.5 с пределом измерения 10 мА, $I = 5 \text{ мА}$, $R_0 = 200 \text{ Ом}$, $\delta R_0 = \pm 1\%$.

Определить результат и абсолютную погрешность измерения сопротивления. Записать результат измерения.

8) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = \frac{I \times (R_1^2 + R_2^2)}{R_3}$. Известно, что

$R_1 = (100 \pm 2) \text{ Ом}$, $R_2 = (200 \pm 4) \text{ Ом}$; $R_3 = 6.8 \text{ кОм}$, $\delta R_3 = \pm 1\%$. Амперметр класса точности 1.5 с пределом измерения 10 мА показал $I = 7 \text{ мА}$.

Определить результат и абсолютную погрешность измерения U . Записать результат измерения.

9) Измерение частоты осуществляется косвенным методом в соответствии с выражением $f = 1/2\pi RC$ по результатам прямых измерений:

$$R_{изм} = 100.8 \text{ кОм}, \theta_R = 0.9 \text{ кОм}, S_R = 0.5 \text{ кОм}, P_{\mathcal{L}} = 0.95.$$

$$C_{изм} = 2.35 \text{ нФ}, \theta_I = 0.05 \text{ нФ}, S_I = 0.03 \text{ нФ}, P_{\mathcal{L}} = 0.95.$$

10) Измерение сопротивления выполняется косвенным методом в соответствии с законом Ома $R_x = U / I$ по результатам прямых измерений:

$$U_{изм} = 9.25 \text{ В}, \theta_u = 0.2 \text{ В}, S_u = 0.08 \text{ В}, P_{\mathcal{D}} = 0.95.$$

$$I_{изм} = 7.4 \text{ мА}, \theta_I = 0.3 \text{ мА}, S_I = 0.1 \text{ мА}, P_{\mathcal{D}} = 0.95.$$

6 КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Контрольная работа состоит из шести заданий, которые носят текстовый характер, т.е. в них необходимо подробно ответить на поставленные вопросы. Эта форма контрольных заданий применена для таких тем, как электрорадиоизмерения, автоматизация измерений, метрологическое обеспечение, техническое регулирование, стандартизация и сертификация. Номер варианта задания выбирается по общим правилам из таблицы 6.1. При выполнении этих заданий не следует дословно копировать соответствующие разделы учебного пособия, а проработать данные вопросы с привлечением дополнительной литературы и источников из Интернета.

Таблица 6.1

№ раздела	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.4	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3
6.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6.6	6	5	4	3	2	1	7	8	9	10

Окончание табл. 6.1

№ раздела	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6.1	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
6.2	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
6.3	11	12	13	14	15	16	17	8	9	6
6.4	4	5	6	7	2	3	4	6	4	3
6.5	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1
6.6	1	2	3	4	5	6	10	8	9	7

6.1 Электрорадиоизмерения

1. Что представляет собой метод последовательного счета при построении цифровых измерительных устройств (ЦИУ). Привести в качестве примера структурную схему какого-либо

измерительного прибора, построенного по этому методу. Объяснить его работу.

2. Что представляет собой метод поразрядного кодирования в ЦИУ. Привести в качестве примера структурную схему какого-либо измерительного прибора, построенного по этому методу. Объяснить его работу.

3. Что представляет собой метод считывания в АЦП. Для примера привести схему АЦП, построенного по этому методу. Объяснить его работу.

4. Объяснить суть метода время-импульсного преобразования. Привести пример структурной схемы прибора, построенного по этому методу. Объяснить его работу, определить причины возникновения погрешностей, оценить точность и быстродействие прибора.

5. Объяснить суть метода частотно-импульсного преобразования. Привести пример структурной схемы прибора, построенного по этому методу. Объяснить его работу, определить причины возникновения погрешностей, оценить точность и быстродействие прибора.

6. Объяснить суть метода измерения с промежуточным преобразованием измеряемой величины в напряжение (амплитудное преобразование). Привести пример структурной схемы прибора, построенного по этому методу. Объяснить его работу, определить причины возникновения погрешностей, оценить точность и быстродействие прибора.

7. Что представляет собой метод развертывающего уравнивания. Привести пример структурной схемы прибора, построенного по этому методу. Объяснить его работу, определить причины возникновения погрешностей, оценить точность и быстродействие прибора.

8. Что представляет собой метод следящего уравнивания. Привести пример структурной схемы прибора, построенного по этому методу. Объяснить его работу, определить причины возникновения погрешностей, оценить точность и быстродействие прибора.

9. Объяснить, что представляет собой погрешность дискретности в ЦИУ. Ее величина.

10. Каким образом производится измерение напряжения и времени с помощью осциллографа. Привести примеры таких измерений.

6.2 Автоматизация измерений

1. Автономные микропроцессорные цифровые СИ.
2. Измерительные информационные системы. Классификация.
3. Виды обеспечения ИИС, необходимые для ее функционирования.
4. Измерительные системы, их разновидности.
5. Телеизмерительные системы.
6. Системы автоматического контроля.
7. Системы технической диагностики.
8. Системы идентификации.
9. Компьютерно-измерительные системы. Виртуальные измерительные приборы
10. Измерительно-вычислительные комплексы.

6.3 Метрологическое обеспечение

1. Обеспечение единства и точности измерений. Основные положения закона РФ «Об обеспечении единства измерений».
2. Основные принципы обеспечения единства измерений.
3. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ).
4. Понятие метрологического обеспечения (МО). Научные и технические основы МО.
5. Понятие метрологического обеспечения (МО). Правовые и организационные основы МО.
6. Виды и содержание работ по МО. Функции федерального агентства по метрологии, стандартизации и сертификации, научных метрологических институтов, региональных центров метрологии.
7. Метрологические службы государственных органов управления. Задачи и обязанности служб.
8. Метрологические службы юридических лиц. Задачи и обязанности служб.

9. Формы государственного регулирования обеспечения единства измерений.

10. Государственный метрологический надзор.

11. Сферы деятельности, в которых применяется государственное регулирование обеспечения единства измерений.

12. Поверка средств измерения.

13. Калибровка средств измерения.

14. Система воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров рабочим средствам измерения. Технические, организационные и нормативные основы системы.

15. Эталоны.

16. Поверочные схемы и методики поверки.

17. Виды поверки СИ, методы поверки.

6.4 Техническое регулирование

1. Техническое регулирование. Области применения, цели, принципы регулирования.

2. Правовая основа технического регулирования. Основные положения закона РФ «О техническом регулировании».

3. Технические регламенты. Цели принятия, виды технических регламентов.

4. Технические регламенты. Содержание и применение.

5. Порядок разработки, принятия, изменения и отмены технических регламентов.

6. Государственный контроль за соблюдением требований технических регламентов.

7. Ответственность и процедуры, применяемые в случаях несоответствия требованиям технических регламентов.

6.5 Стандартизация

1. Определение понятия стандартизации. Функции, цели, объекты, области и уровни стандартизации.

2. Правовые основы стандартизации в РФ. Основные положения закона РФ «Об основах технического регулирования в РФ».

3. Цели и принципы стандартизации.

4. Виды стандартизации.

5. Методы стандартизации.
6. Государственная система стандартизации (ГСС). Научная и организационная основы стандартизации.
7. Нормативные документы по стандартизации.
8. Виды стандартов.
9. Национальные стандарты. Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации. Свод правил.
10. Стандарты общественных научно-технических организаций, стандарты объединений юридических лиц, стандарты коммерческих организаций.
11. Органы и службы стандартизации в РФ.

6.6 Подтверждение соответствия. Сертификация

1. Подтверждение соответствия. Цели и принципы подтверждения соответствия.
2. Добровольное подтверждение соответствия (добровольная сертификация).
3. Обязательное подтверждение соответствия. Объекты и формы обязательного подтверждения соответствия.
4. Обязательная сертификация.
5. Декларирование соответствия.
6. Системы сертификации.
7. Схемы сертификации.
8. Органы по сертификации. Их полномочия, аккредитация.
9. Сертификация средств связи.
10. Сертификация средств измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Статистические таблицы

Таблица П.1 — Интегральная функция нормального распределения

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{t^2/2} \cdot dt$$

z	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
−3.3	0.00036	0.00039	0.00042	0.00045	0.00048
−3.2	0.00052	0.00056	0.00060	0.00064	0.00069
−3.1	0.00074	0.00079	0.00085	0.00090	0.00097
−3.0	0.00104	0.00111	0.00118	0.00126	0.00135
−2.9	0.0014	0.0015	0.0016	0.0017	0.0019
−2.8	0.0020	0.0021	0.0023	0.0024	0.0026
−2.7	0.0027	0.0029	0.0031	0.0033	0.0035
−2.6	0.0037	0.0039	0.0041	0.0044	0.0047
−2.5	0.0049	0.0052	0.0055	0.0059	0.0062
−2.4	0.0066	0.0069	0.0073	0.0078	0.0082
−2.3	0.0087	0.0091	0.0096	0.0102	0.0107
−2.2	0.0113	0.0119	0.0125	0.0132	0.0139
−2.1	0.0146	0.0154	0.0162	0.0170	0.0179
−2.0	0.0188	0.0197	0.0207	0.0217	0.0228
−1.9	0.0239	0.0250	0.0262	0.0274	0.0287
−1.8	0.0301	0.0314	0.0329	0.0344	0.0359
−1.7	0.0375	0.0392	0.0409	0.0427	0.0446
−1.6	0.0465	0.0485	0.0505	0.0556	0.0578
−1.5	0.0571	0.0594	0.0618	0.0643	0.0668
−1.4	0.0694	0.0721	0.0749	0.0778	0.0808
−1.3	0.0838	0.0869	0.0901	0.0934	0.0968
−1.2	0.1003	0.1038	0.1075	0.1112	0.1151
−1.1	0.1190	0.1230	0.1271	0.1314	0.1357
−1.0	0.1401	0.1446	0.1492	0.1539	0.1587
−0.9	0.1635	0.1685	0.1736	0.1788	0.1841
−0.8	0.1894	0.1949	0.2005	0.2061	0.2119
−0.7	0.2177	0.2236	0.2297	0.2358	0.2420
−0.6	0.2483	0.2546	0.2611	0.2678	0.2743
−0.5	0.2810	0.2877	0.2946	0.3015	0.3085
−0.4	0.3156	0.3288	0.3300	0.3372	0.3446
−0.3	0.3520	0.3594	0.3669	0.3745	0.3821
−0.2	0.3897	0.3974	0.4052	0.4129	0.4207
−0.1	0.4286	0.4364	0.4443	0.4522	0.4602
−0.0	0.4681	0.4761	0.4840	0.4920	0.5000

Окончание табл. П.1

z	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08
+0.0	0.5000	0.5080	0.5160	0.5239	0.5319
+0.1	0.5398	0.5478	0.5557	0.5636	0.5714
+0.2	0.5793	0.5871	0.5948	0.6026	0.6103
+0.3	0.6179	0.6255	0.6331	0.6406	0.6480
+0.4	0.6554	0.6628	0.6700	0.6772	0.6844
+0.5	0.6915	0.6985	0.7054	0.7123	0.7190
+0.6	0.7257	0.7324	0.7389	0.7454	0.7517
+0.7	0.7580	0.7642	0.7704	0.7764	0.7823
+0.8	0.7881	0.7939	0.7995	0.8051	0.8106
+0.9	0.8159	0.8212	0.8264	0.8315	0.8365
+1.0	0.8413	0.8461	0.8505	0.8554	0.8599
+1.1	0.8643	0.8686	0.8729	0.8770	0.8810
+1.2	0.8849	0.8888	0.8925	0.8962	0.8997
+1.3	0.9032	0.9066	0.9099	0.9131	0.9162
+1.4	0.9192	0.9222	0.9251	0.9279	0.9306
+1.5	0.9332	0.9357	0.9382	0.9406	0.9429
+1.6	0.9452	0.9474	0.9495	0.9515	0.9535
+1.7	0.9552	0.9573	0.9591	0.9608	0.9625
+1.8	0.9641	0.9656	0.9671	0.9686	0.9699
+1.9	0.9713	0.9726	0.9738	0.9750	0.9761
+2.0	0.9773	0.9783	0.9793	0.9803	0.9812
+2.1	0.9821	0.9830	0.9838	0.9846	0.9854
+2.2	0.9861	0.9868	0.9875	0.9881	0.9887
+2.3	0.9893	0.9898	0.9904	0.9909	0.9913
+2.4	0.9918	0.9922	0.9927	0.9931	0.9934
+2.5	0.9938	0.9941	0.9945	0.9948	0.9951
+2.6	0.9953	0.9956	0.9959	0.9961	0.9963
+2.7	0.9965	0.9967	0.9969	0.9971	0.9973
+2.8	0.9974	0.9976	0.9977	0.9979	0.9980
+2.9	0.9981	0.9983	0.9984	0.9985	0.9986
+3.0	0.99865	0.99874	0.99882	0.99889	0.99896
+3.1	0.99903	0.99910	0.99915	0.99921	0.99926
+3.2	0.99931	0.99936	0.99940	0.99954	0.99948

Таблица П.2 — Значения допускаемых нормированных

$$\text{отклонений } t_{\text{cp}}(P_d, n) = \frac{\max |X_i - \bar{X}|}{S}$$

Число наблюдений	Уровень значимости g (доверительная вероятность P)				
	$g = 0.001$ ($P = 0.999$)	$g = 0.005$ ($P = 0.995$)	$g = 0.01$ ($P = 0.99$)	$g = 0.05$ ($P = 0.95$)	$g = 0.1$ ($P = 0.90$)
3	1.414	1.414	1.414	1.414	1.412
4	1.732	1.730	1.728	1.710	1.689
5	1.994	1.982	1.972	1.917	1.869
6	2.212	2.183	2.161	2.067	1.996
7	2.395	2.344	2.310	2.182	2.093
8	2.547	2.476	2.431	2.273	2.172
9	2.677	2.586	2.532	2.349	2.238
10	2.788	2.680	2.616	2.414	2.294
11	2.884	2.760	2.689	2.470	2.343
12	2.969	2.830	2.753	2.519	2.387
13	3.044	2.892	2.809	2.563	2.426
14	3.111	2.947	2.859	2.602	2.461
15	3.171	2.997	2.905	2.638	2.494
16	3.225	3.042	2.946	2.670	2.523
17	3.274	3.083	2.983	2.701	2.551
18	3.320	3.120	3.017	2.728	2.577
19	3.361	3.155	3.049	2.754	2.601
20	3.400	3.187	3.079	2.779	2.623
21	3.436	3.217	3.106	2.801	2.644
22	3.469	3.245	3.132	2.823	2.664
23	3.500	3.271	3.156	2.843	2.683
24	3.529	3.295	3.179	2.862	2.701
25	3.556	3.318	3.200	2.880	2.718
26	3.582	3.340	3.220	2.897	2.734
27	3.606	3.360	3.239	2.913	2.749
28	3.629	3.380	3.258	2.929	2.764
29	3.651	3.399	3.275	2.944	2.778
30	3.672	3.416	3.291	2.958	2.792

Таблица П.3 — Значение коэффициента $t_s(P_d, n)$ для различных доверительных вероятностей (распределение Стьюдента)

n	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
2	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
3	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
4	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
5	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
6	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
7	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
8	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
9	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
10	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
11	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
12	1.363	1.796	2.201	2.718	3.103	4.487
13	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
14	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
15	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
16	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
17	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
18	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
19	1.330	1.734	2.103	2.552	2.878	3.992
20	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
21	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
22	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
23	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
24	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
25	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
26	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
27	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
28	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
29	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
30	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
31	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
41	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
61	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
121	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное учебно-методическое пособие позволяет организовать самостоятельную работу студентов при решении конкретных практических задач по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация». В пособии рассмотрены примеры решения задач по основным темам курса. Это позволяет студенту успешно выполнить приведенные контрольные работы при условии проработки теоретического материала по этим темам.

Основной упор сделан на обработку экспериментальных данных с целью определения результатов и погрешностей для наиболее часто встречающихся на практике видов измерений — прямых однократных, многократных и косвенных.

В контрольных работах задаются задачи, типовые решения которых рассмотрены в соответствующих разделах пособия, поэтому отдельный пример решения варианта контрольной работы приводить нецелесообразно. Перечень выносимых на итоговую аттестацию вопросов и задач в достаточно исчерпывающем объеме приведен в учебном и учебно-методическом пособиях в виде контрольных вопросов по темам и примеров решения задач.

Часть контрольных заданий носит текстовый характер. В основном это касается вопросов законодательной метрологии, технического регулирования, стандартизации и сертификации.