

**Министерство Российской Федерации
по связи и информатизации**

**Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики**

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И
СЕРТИФИКАЦИЯ**

**КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ
И
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

Новосибирск 2009

I. Общие положения

Изучение курса "Метрология, стандартизация и сертификация" осуществляется в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению «Телекоммуникации».

Критерии оценки знаний по курсу МС и С

Для получения оценки «**ОТЛИЧНО**» студент должен:

знать

- принципы и методы управления качеством продукции на базе стандартизации, сертификации и метрологии;
- основные метрологические правила, требования, нормы и стандарты по сертификации и стандартизации;
- методы и способы обеспечения единства измерений, методы измерения параметров радиотехнических систем, устройств и сигналов и средства их реализации;

уметь

- планировать и осуществлять экспериментальные исследования;
- оценивать связь результатов эксперимента с качеством продукции;
- применять основные средства измерений, используемые в технике телекоммуникаций;
- осваивать новые средства измерения;
- обрабатывать и оформлять результаты экспериментальных исследований;

иметь навыки

- работы с распространенными в технике телекоммуникаций измерительными приборами;
- обработки и оформления результатов экспериментальных исследований.

Для получения оценки «**хорошо**» студент должен:

знать

- принципы и методы управления качеством продукции на базе стандартизации, сертификации и метрологии;
- основные метрологические правила, требования, нормы и стандарты по сертификации и стандартизации;
- методы и способы обеспечения единства измерений, методы измерения параметров радиотехнических систем;

уметь

- оценивать связь результатов эксперимента с качеством продукции;

- применять основные средства измерений, используемые в технике телекоммуникаций;
- осваивать новые средства измерения;
- обрабатывать и оформлять результаты экспериментальных исследований;

иметь навыки

- работы с распространенными в технике телекоммуникаций измерительными приборами;
- обработки и оформления результатов экспериментальных исследований.

Для получения оценки «**удовлетворительно**» студент должен:

знать

- принципы и методы управления качеством продукции на базе стандартизации, сертификации и метрологии;
- основные метрологические правила, требования, нормы и стандарты по сертификации и стандартизации;
- основные методы и способы обеспечения единства измерений, методы измерения параметров радиотехнических систем;

уметь

- применять основные средства измерений, используемых в технике телекоммуникаций;
- обрабатывать и оформлять результаты экспериментальных исследований;

иметь навыки

- работы с наиболее распространенными в технике телекоммуникаций измерительными приборами;
- обработки и оформления результатов экспериментальных исследований.

II. Контрольные вопросы по курсу "Метрология, стандартизация и сертификация"

Приведенные ниже вопросы для самоконтроля знаний составлены с целью оказания помощи студентам в самостоятельном изучении материала настоящего курса. Они охватывают его основное содержание и сгруппированы в соответствии с разделами программы курса. **Жирным шрифтом** выделены наиболее важные разделы курса, глубокое усвоение которых является необходимым условием успешного освоения курса.

Невыделенные вопросы являются менее важными, но необходимыми в подготовке специалистов в области телекоммуникаций.

Мелким шрифтом обозначены разделы курса, о которых студенты должны иметь представление.

МЕТРОЛОГИЯ

1. Предмет и задачи метрологии [1. С. 6-20]

1.1. Метрология - наука об измерениях. Основные задачи метрологии. Роль метрологии в системах телекоммуникаций.

1.2. Метрологическая служба. Задачи, выполняемые государственной метрологической службой. Структура ведомственной метрологической службы.

1.3. Понятие об измерении. Физическая величина, истинное и действительное значения физической величины, погрешность (неопределенность) измерения.

1.4. Основные элементы процесса измерений: объект измерения, средства измерений, метод и условия измерений.

1.5. Единство измерений. Обеспечение единства измерений.

1.6. Классификация измерений по способу нахождения числового значения измеряемой величины: прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения.

1.7. Классификация методов измерений. Методы непосредственной оценки и сравнения с мерой. Виды методов сравнения с мерой: противопоставления, дифференциальный, нулевой (метод компенсации), замещения, совпадения.

1.8. Основные единицы физических величин, применяемых в электросвязи и электронике. Международная система единиц СИ. Внесистемные логарифмические единицы измерения.

1.9. Классификация мер измерения: первичный и вторичный эталоны, эталон-копия, рабочий эталон. Образцовые средства измерений, их назначение.

2. Погрешность (неопределенность) измерения и математическая обработка результатов измерений

[1.С. 60-84; 2. С. 35-53]

2.1. Классификация погрешностей (неопределенностей) по форме выражения: абсолютные погрешности (неопределенности), относительные погрешности (неопределенности). Точность измерений.

2.2. Классификация погрешностей (неопределенностей) по причине возникновения:

объективные и субъективные погрешности (неопределенности), погрешности (неопределенности) метода, инструментальные погрешности (неопределенности).

2.3. Классификация погрешностей (неопределенностей) по закономерности проявления: случайные и систематические погрешности (неопределенности), грубые погрешности (промахи).

2.4. Случайные погрешности (неопределенности) и вызывающие их факторы. Законы распределения случайных погрешно-

стей (неопределенностей), основные параметры законов распределения. Нормальный закон распределения и его параметры. Закон распределения Стьюдента.

2.5. Оценка случайных погрешностей (неопределенностей) прямых равноточных измерений. Среднее арифметическое значение ряда наблюдений, среднее квадратическое отклонение результата наблюдения, среднее квадратическое отклонение результата измерений (среднего арифметического значения). Понятия доверительного интервала и доверительной вероятности, предельной погрешности (неопределенности).

2.6. Классификация систематических погрешностей (неопределенностей) по причинам возникновения, по характеру проявления. Методы обнаружения и исключения систематических погрешностей (неопределенностей) измерения.

2.7. Правила суммирования случайных и систематических погрешностей (неопределенностей). Критерий ничтожной погрешности (неопределенности).

2.8. Погрешности (неопределенности) косвенных измерений. Оценка систематических и случайных погрешностей (неопределенностей) косвенных измерений.

2.9. Обработка результатов прямых измерений. Формы представления результатов измерений.

3. Средства измерений, способы нормирования и оценки инструментальных погрешностей (неопределенностей)

[1. С. 21-42; 2. С. 30-34; 3. С. 18-30]

3.1. Классификация средств измерений: мера, измерительный преобразователь, измерительный прибор, измерительная установка, измерительная система.

3.2. Метрологические характеристики средств измерений.

3.3. Нормирование инструментальных погрешностей (неопределенностей), классы точности средств измерений.

3.4. Оценка инструментальных погрешностей (неопределенностей) по метрологическим характеристикам.

4. Основные положения цифровых методов измерения [1. С. 43-59]

4.1. Преобразование информации в цифровых средствах измерений. Дискретизация и квантование измеряемых величин.

4.2. Основные методы построения аналого-цифровых преобразователей. Структура построения цифровых измерительных приборов.

4.3. Источники погрешностей (неопределенностей) аналого-цифровых преобразователей. Погрешности (неопределенности) квантования.

ОБЩИЕ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

5. Измерение тока, напряжения и мощности [1. С. 85-143; 2. С. 54-142; 4. С. 152-224]

5.1. Методы измерения тока и напряжения: метод непосредственной оценки, метод сравнения. Компенсационный метод измерения напряжения. Основные требования к вольтметрам и амперметрам.

5.2. Характеристики измеряемых величин: мгновенное, пиковое, среднеквадратическое, среднее и средневыпрямленное значения тока и напряжения. Коэффициенты амплитуды, формы и усреднения.

5.3. Магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические и электростатические измерительные механизмы Амперметры и вольтметры на их основе. Принцип действия, свойства, области применения.

5.4. Термоэлектрические и выпрямительные амперметры и вольтметры. Принцип действия, области применения.

5.5. Основные и дополнительные погрешности (неопределенности) электромеханических измерительных приборов.

5.6. Аналоговые электронные вольтметры. Структурные схемы, свойства, области применения.

5.7. Электронные вольтметры пикового, средневыпрямленного и среднеквадратического значений. Импульсные вольтметры. Градуировка вольтметров и амперметров.

5.8. Селективные вольтметры. Структурные схемы. Области применения.

5.9. Принципы построения цифровых вольтметров. Типы цифровых вольтметров, особенности их построения, метрологические характеристики.

5.10. Измерение мощности. Понятия мгновенной, средней и импульсной мощности. Основные методы измерения мощности.

5.11. Измерение мощности в цепях постоянного тока и переменного тока промышленной частоты.

5.12. Методы измерения мощности на высоких и сверхвысоких частотах.

5.13. Калориметрический, терморезисторный и термоэлектрический методы измерения мощности.

6. Генераторы измерительных сигналов **[1. С. 144-165; 2. С. 143-170; 3. С. 96-119; 4. С. 369-403]**

6.1. Назначение, классификация и основные метрологические характеристики измерительных генераторов.

6.2. Измерительный генератор синусоидальных сигналов звуковых частот. Структурная схема, метрологические характеристики.

6.3. Структурные схемы генераторов высоких и сверхвысоких частот.

6.4. Генераторы импульсных сигналов и сигналов специальной формы. Виды генераторов, области применения, структурная схема.

6.5. Генераторы шумовых сигналов. Области применения, принципы действия, структурная схема.

7. Наблюдение и анализ формы электрических сигналов [1. С. 166-205; 2. С. 176-213; 4. С. 54-103]

7.1. Электронные осциллографы. Назначение, классификация, структурная схема, основные метрологические характеристики.

7.2. Внутренний генератор линейной развертки осциллографа, назначение. Параметры сигнала линейной развертки, основные требования. Непрерывный и ждущий режимы работы.

7.3. Синхронизация генератора линейной развертки. Задачи синхронизации, особенности синхронизации непрерывной и ждущей разверток.

7.4. Внешние развертки осциллографа. Виды разверток, способы получения, области применения.

7.5. Калибраторы амплитуды и длительности осциллографа. Назначение, основные требования.

7.6. Исследование формы, измерение напряжения и временных параметров сигнала с помощью осциллографа. Источники погрешностей (неопределенностей) измерения. Оценка погрешности (неопределенности) измерения.

8. Измерение частотно-временных параметров и анализ спектра сигналов

[1. С. 206-242; 2. С. 252-276, 227-238, 213-220; 4. С. 104-152; 225-260]

8.1. Классификация методов измерения частоты: методы непосредственной оценки и методы сравнения. Сравнительная оценка методов.

8.2. Резонансный метод измерения частоты. Сущность метода, схема резонансного частотомера, область применения, источники погрешности (неопределенности).

8.3. Осциллографические методы измерения частоты с использованием синусоидальной (по фигурам Лиссажу) и круговой развертки. Сущность методов, области применения, источники погрешности (неопределенности).

8.4. Гетеродинный метод измерения частоты. Сущность метода. Упрощенная структурная схема гетеродинного частотомера (волномера), область применения, источники погрешностей (неопределенностей).

8.5. Измерение частоты методом дискретного счета. Сущность метода, структурная схема электронно-счетного частотомера, источники погрешностей (неопределенностей).

8.6. Измерение временных интервалов методом дискретного счета. Сущность метода, структурная схема электронно-счетного измерителя интервалов времени, источники погрешностей (неопределенностей).

8.7. Осциллографические методы измерения фазового сдвига гармонических сигналов: по осциллограммам сигналов (линейная развертка), с помощью синусоидальной и круговой разверток. Источники погрешностей (неопределенностей).

8.8. Измерение фазового сдвига методом, основанным на преобразовании фазового сдвига в интервалы времени между импульсами и далее в напряжение. Сущность метода, структурная схема, источники погрешностей (неопределенностей).

8.9. Компенсационный метод измерения сдвига фаз. Сущность метода, источники погрешности (неопределенности).

8.10. Цифровые фазометры. Принцип действия, структурные схемы, источники погрешности (неопределенности).

8.11. Анализ спектра сигналов. Понятие о спектре сигналов. Методы анализа.

8.12. Фильтровые методы анализа спектра. Анализаторы спектра последовательного действия: структурная схема, принцип действия, метрологические характеристики.

8.13. Дисперсионный метод. Принцип действия, структурная схема дисперсионного анализатора спектра, метрологические характеристики.

9. Измерение параметров компонентов и цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами [1. С. 243-286; 2. С. 327-344, 370-375, 404-413; 4. С. 308-337]

9.1. Классификация методов и приборов для измерения цепей с сосредоточенными параметрами.

9.2. Прямые измерения параметров компонентов. Омметры для измерения резисторов с малым и большим сопротивлением.

9.3. Косвенные измерения компонентов и цепей. Метод вольтметра и амперметра. Сущность метода, области применения, источники погрешностей (неопределенностей) измерения.

9.4. Мостовые методы измерения параметров цепей. Функциональные схемы мостовых измерителей для постоянного и переменного токов, уравнение баланса моста, источники погрешностей (неопределенностей).

9.5. Резонансный метод измерения параметров компонентов и цепей. Функциональная схема измерителя добротности (куметра), принцип действия, области применения, источники погрешности (неопределенности).

9.6. Цифровой измеритель сопротивления резисторов и емкости конденсаторов. Функциональная схема, принципы действия, источники погрешностей (неопределенностей).

9.7. Цифровой измеритель добротности. Функциональная схема, принцип действия, источники погрешностей (неопределенностей).

9.8. Особенности измерения параметров компонентов и цепей с распределенными параметрами. Измерительная линия: основные элементы, их назначение, режимы работы измерительной линии.

9.9. Измерение коэффициента стоячей волны и коэффициента отражения с помощью измерительной линии, рефлектометры.

9.10. Измерение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Структурная схема измерителя АЧХ с осциллографическим индикатором, принцип действия, источники погрешностей (неопределенностей).

ИЗМЕРЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

10. Измерения в сетях связи и системах коммутации.

[1. С. 278-287, 297-310; 2. С. 11, 12, 100-111, 221-226, 277-297, 345-366, 386-404; 3. С. 161-176]

10.1. Измерение уровней сигналов. Широкополосные и избирательные измерители уровней. Структурная схема, области применения, источники погрешностей (неопределенностей).

10.2. Измерение ослабления (затухания) и усиления четырехполюсников. Общее понятие ослабления четырехполюсника. Виды ослаблений четырехполюсника.

10.3. Методы измерения рабочего ослабления, рабочего усиления, вносимого ослабления и собственного ослабления четырехполюсника. Схемы измерений, источники погрешностей (неопределенностей) измерений.

10.4. Измерение несогласованности и балансного ослабления: понятия, схемы измерения, нормы для воздушных и кабельных линий связи, источники погрешностей (неопределенностей) измерения.

10.5. Измерение нелинейных искажений методом гармонического анализа. Определение коэффициента гармоник и коэффициента нелинейных искажений. Методы измерения. Измеритель нели-

нейных искажений: структурная схема измерителя, принцип действия, источники погрешности (неопределенности).

10.6. Виды повреждений на линиях связи. Методы определения характера повреждений. Схемы измерения на постоянном и переменном токе.

10.7. Определение расстояния до места повреждения на линиях связи. Импульсный рефлектометр: принцип действия, погрешности (неопределенности) измерения.

11. Измерения в автоматических системах коммутации [1. С. 287-297]

11.1. Цели и задачи измерений. Классификация измерений.

11.2. Принципы измерения параметров телефонной нагрузки и потерь в сетях электросвязи. Методы измерения обслуженной нагрузки и вероятности потерь.

11.3. Организация измерений на сети. Определение объема измерений. Структурные схемы основных измерительных приборов.

12. Автоматизация измерений [1. С. 356-382; 4. С. 403-430]

12.1. Основные направления автоматизации измерений. Классификация информационно-измерительных систем.

12.2. Основные принципы построения информационно-измерительных систем на основе Государственной системы приборов.

12.3. Стандартные интерфейсы измерительных систем: структуры интерфейсов, основные характеристики интерфейсов КАМАК и МЭК.

ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

13. Государственная система стандартизации

Международная стандартизация

[1. С. 383-413; 3. С. 1-37]

13.1. Основные понятия и определения в области стандартизации и сертификации. Цели и задачи стандартизации и сертификации. Органы и службы стандартизации и сертификации. Связь стандартизации, сертификации и метрологии.

13.2. Основные системы стандартов в радиоэлектронике и связи. основополагающие стандарты в области метрологического обеспечения.

13.3. Органы и службы стандартизации и сертификации. Госстандарт России, его службы и организации. Службы стандартизации и сертификации министерств и ведомств.

13.4. Международная организация по установлению единых норм, требований и методов испытаний оборудования связи.

III. Тематика лабораторного практикума

Исследование метрологических характеристик аналогового измерительного прибора.

Измерение напряжения электрических сигналов электронными вольтметрами.

Измерение ослабления и АЧХ четырехполюсников и трактов связи.

Исследование методов измерения частоты и временных интервалов.

Исследование методов измерения фазового сдвига четырехполюсников.

Исследование основных методов измерения параметров двухполюсников.

Анализ спектра сигналов и измерение нелинейных искажений.

Измерение параметров сигналов электронно-лучевым осциллографом.

IV. Список литературы

Основная

1. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи/ Под ред. Б.П.Хромого. - М.: Радио и связь, 1986. - 418 с.

2. Кушнир Ф.В., Савенко В.Г., Верник С.М. Измерения в технике связи. - М.: Связь, 1976. - 432 с.

3. Основные положения обязательной сертификации технических средств электросвязи ВСС России. Система сертификации «Электросвязь». Сборник нормативных документов. М. 1997, - 50 с.

Дополнительная

4. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения. - Л.: Энергоатомиздат. 1983. - 318 с.

5. Мирский Г.Я. Электронные измерения. - М.: Радио и связь, 1986. - 440с.

6. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения. - М.: Радио и связь, 1985. - 368 с.

7. Винокуров В. И., Каплин С. И., Петелин И. Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высшая школа. 1986, - 352 с.

V. Основные требования к выполнению и правила оформления контрольного задания

1. Согласно учебному плану студент должен выполнить контрольное задание, которое состоит из четырех задач. Все задачи составлены по 100-вариантной системе. Вариант задания в каждой задаче определяется двумя последними цифрами студенческого билета, причем предпоследняя цифра студенческого билета обозначена в таблицах контрольного задания буквой " M ", а последняя буквой " N ". Номер студенческого билета и номер варианта задания указываются студентом в начале контрольной работы.

2. Контрольную работу выполняют в отдельной стандартной тетради в клетку или печатают на стандартной белой бумаге формата **A4 на одной стороне листа** (в последнем случае листы должны быть сброшюрованы в тетрадь). Страницы тетради должны быть пронумерованы, на каждой из них должно быть оставлено поле шириной 30-40 мм. Тетрадь должна быть подписана автором.

3. Прежде чем приступить к решению задачи, необходимо изучить по учебнику те разделы курса, по материалам которых она составлена. Условие задачи должно быть переписано в тетрадь полностью. Помимо того, нужно выписать из таблиц исходные числовые данные соответствующего варианта задания и, если имеется, воспроизвести рисунок.

4. В каждом пункте решения задачи первоначально нужно указать цель последующего расчета и привести (а в требуемых случаях вывести) в общем виде расчетные формулы. **При этом необходимо указать литературный источник, из которого взята данная формула, со ссылкой на номер страницы или формулы. К расчетным формулам, а также ко всем входящим в них и вводимым в процессе решения задач условным обозначениям физических величин нужно дать подробные комментарии (объяснения).** Недопустимо представлять решения без пояснительного текста в виде «голового» набора формул и вычислительных операций.

5. Расчет следует начать с подстановки в расчетную формулу числовых значений известных величин. В процессе расчета **приводят** результаты **промежуточных** вычислений **и конечный** результат. С целью сведения к минимуму возможных ошибок, исходные данные должны быть подставлены в формулу в основных единицах физической величины, предусмотренной международной системой единиц **СИ** (напряжение - в вольтах, ток - в амперах, сопротивление - в омах и т.п.). Так, если в условии напряжение задано в милливольтках, например $U = 12\text{мВ}$, в расчетную формулу его числовое значение должно быть подставлено как $U = 12 \cdot 10^{-3}$ В. В то же время конечный результат должен быть проставлен в удобном для прочтения виде с использованием как основных, так и кратных или дольных единиц. Например, если в результате расчета по-

лучено, что ток $I = 15 \cdot 10^{-6}$ А, то в ответе к решению следует записать $I = 15$ мкА.

При подстановке числовых значений физических величин в расчетные формулы, а также в процессе выполнения промежуточных вычислений размерность не проставляется.

6. Промежуточные вычисления выполняются с использованием такого числа значащих цифр, которое необходимо для обеспечения решения задачи с требуемой точностью. Для выполнения данного контрольного задания достаточно использовать **шесть** значащих цифр.

7. Конечные результаты расчетов должны, быть представлены с соблюдением **правил округления** и обязательным указанием **единиц измерения**, вычисленной физической величины.

8. В тех случаях, когда при расчете оценивают погрешность (неопределенность) результата измерений, он должен быть оформлен в соответствии с нормативным документом – методическими рекомендациями МИ1317-86. Согласно им **окончательный результат расчета погрешности (неопределенности) должен быть выражен не более чем двумя значащими цифрами путем округления в большую сторону**. Допускается статистические оценки погрешности (неопределенности) округлять по математическим правилам (СТ СЭВ 543-77). **Погрешность округления** во всех случаях в соответствии с ГОСТ 8.401-80 **не должна превышать 5%**.

Критерием для округления конечного результата расчета измеряемой величины (результата измерения) является **округленное значение абсолютной погрешности (неопределенности): младший разряд числового значения результата измерения должен быть одинаковым с младшим разрядом округленного значения абсолютной погрешности (неопределенности)**. Обратите внимание, что при округлении единицы измерения **результата измерения** и **погрешности** должны быть одинаковыми.

Если результат измерения содержит интервальные оценки погрешности (неопределенности), **обязательно указание вероятности**, с которой погрешность (неопределенность) находится в этом интервале. Кроме того, результат должен включать в себя **условия проведения измерения** (температура, давление, влажность, число наблюдений, частота, на которой проведены измерения, и т. п.).

Пример. Измеренное значение напряжения $U = 21,71924$ В, оценка границ относительной погрешности этого результата $\delta_U = \pm 0,06156$ % с вероятностью $\alpha = 0,95$. Измерение проведено в нормальных условиях. Оформить результат в соответствии с нормативными документами.

1) Вычислим оценку границ абсолютной погрешности измерения $\Delta_U = U \cdot \delta_U / 100 = 21,71924 \cdot 0,06156 / 100 = 0,0133704$ В = 13,3704 мВ.

2) Округлим оценку абсолютной погрешности измерения, содержащую шесть значащих цифр, до двух значащих цифр путем округления в

большую сторону: $\Delta_U = 0,014\text{В} = 14\text{мВ}$.

3) Вычислим погрешность округления абсолютной погрешности: $(14 - 13,3704) \cdot 100 / 13,3704 = 4,70891\%$, следовательно, округление в большую сторону верно, так как погрешность округления не превышает 5%.

4) Округлим измеренное значение напряжения: $U = 21,719\text{В}$, так как младший разряд абсолютной погрешности равен $0,001\text{В}$.

5) Округлим оценку относительной погрешности измерения $\delta_U = \pm 0,06156\%$, содержащую четыре значащих цифры, до двух значащих цифр: $\delta_U = 0,062\%$ погрешность округления относительной погрешности не превышает 5%.

6) Округление оценок абсолютной и относительной погрешностей измерения до одной значащей цифры невозможно, так как погрешность округления в этом случае превышает 5%.

7) Запишем результат измерения в соответствии с нормативными документами:

$U = 21,719 \pm 0,014\text{В}; \alpha = 0,95$; условия измерения нормальные; или
 $U = 21719 \pm 14\text{мВ}; \alpha = 0,95$; условия измерения нормальные; или
 $U = 21,719\text{В} \pm 0,062\%$; $\alpha = 0,95$; условия измерения нормальные; или
 $U = 21719\text{мВ} \pm 0,062\%$; $\alpha = 0,95$; условия измерения нормальные.

В случае необходимости выполнения ряда однотипных расчетов приводят **расчет только для одного значения**, результаты промежуточных вычислений и конечные результаты в этом случае сводят в таблицу.

9. Графики нужно строить на миллиметровой бумаге формата не менее А5 с соблюдением **масштаба и указанием обозначения физических величин, откладываемых по осям. Пунктирными линиями необходимо иллюстрировать процесс построения. Точки пересечения соответствующих пунктирных линий, отображающие конечный или промежуточный результат построения, должны быть обозначены такими же цифрами, что и отправные точки, нанесенные на осях.** При построении графика следует выбирать такие масштабы, чтобы график занимал не менее $2/3$ площади листа и на нем можно было четко показать процесс построения.

10. В конце контрольной работы необходимо привести **список литературных источников, использованных при ее выполнении.**

После этого должна быть поставлена **личная подпись** студента и дата отправления контрольной работы на проверку.

11. **Работа над ошибками** должна быть выполнена на **отдельных чистых страницах** в той же тетради **в конце работы** с заголовком: **“Работа над ошибками”**. **Недопустимо делать исправления в тексте проверенной работы.** Если доработка контрольной работы оформлена в новой тетради (что не желательно), на повторную проверку она должна быть направлена вместе с **проверенной контрольной работой**. Если контрольная работа зачтена с замечаниями, студент

обязан к *защите работы устранить все отмеченные преподавателем недостатки.*

Следует иметь в виду, что к *сдаче экзамена* по курсу студенты допускаются только *после защиты контрольной работы.*

VI. Контрольное задание

Задача № 1

Для определения расстояния до места повреждения кабельной линии связи был использован импульсный рефлектометр. С его помощью получено n (результатов единичных измерений) расстояния l_i до места повреждения.

Считая, что случайная составляющая погрешности рефлектометра распределена по нормальному закону, выполнить следующие задания.

1. Результат измерения с многократными наблюдениями расстояния до места повреждения кабеля \bar{l} .

2. Оценку среднего квадратического отклонения (СКО) погрешности результата наблюдений (стандартную неопределенность единичного измерения) S .

3. Границы максимальной погрешности (неопределенности) случайной составляющей погрешности результата наблюдений $\Delta_{\text{макс}}$.

4. Оценку среднего квадратического отклонения погрешности случайной составляющей результата измерения (стандартную неопределенность результата измерения) $S(\bar{l})$.

5. Границы доверительного интервала погрешности (расширенную неопределенность) для результата измерения расстояния до места повреждения ϵ при заданной доверительной вероятности α .

6. Записать результат измерения расстояния до места повреждения в соответствии с нормативными документами.

7. Систематическую составляющую погрешности измерения рефлектометра θ , если после обнаружения места повреждения было установлено, что действительное расстояние до него составляло l_0 метров. Сравните ее с доверительным интервалом случайной составляющей погрешности результата измерения, и сделайте вывод.

8. Предложить способ уменьшения оценки СКО случайной составляющей погрешности результата измерения в D раз.

Методические указания к решению задачи

1. Исходные данные контрольного задания определяют в соответствии

с табл. 1.1, 1.2 и 1.3 по номеру варианта **MN**. Во второй строке табл. 1.1 и 1.2, обозначенной буквой **i**, указаны номера результатов наблюдений (единичных измерений) l_i , которые входят в качестве исходных данных в соответствующий вариант контрольного задания. Таким образом, число наблюдений (единичных измерений) l_i и их числовые значения определяются обеими цифрами варианта (**MN**).

Таблица 1.1

M	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9
i	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
$l_{\Delta, M}$	275,4	272,3	278,1	272,8	278,4	272,7	279,0	271,5	279,0	274,4
D	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9

Таблица 1.2

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	51-57	55-62	60-68	65-73	70-77	75-84	80-89	85-94	90-96	92-99
α	0,90	0,95	0,98	0,95	0,99	0,90	0,98	0,90	0,99	0,95

Числовые значения l_{Δ} и α приведены соответственно в третьей строке табл. 1.1 и 1.2, коэффициент **D** приведен в четвертой строке табл. 1.1, а числовые значения результатов наблюдений (единичных измерений) - в табл. 1.3.

2. Прежде чем приступить к решению задачи, необходимо изучить разделы §§ 4.1-4.3 и 4.5 четвертой главы "Погрешности и математическая обработка результатов измерений" учебного пособия [1] и §§ 2.1-2.3 и 2.7 второй главы "Элементы теории погрешностей" учебника [2]. Импульсный метод измерения линий связи рассмотрен в [1] с. 312-317; [2] с. 397- 403; [4] с. 219-292.

3. Решать задачу нужно в такой же последовательности, в какой приведены пункты контрольного задания.

4. Для удобства выполнения расчетов по п.п. 1, 2 и 3 задания, а также для сокращения времени на оформление работы необходимо составить таблицу промежуточных вычислений по форме, соответствующей табл.1.4.

Во второй и третий столбцы табл. 1.4 вписываются номера и числовые значения результатов наблюдений (единичных измерений) расстояния l_i , соответствующего варианта контрольного задания.

Таблица 1.3

i	$l_{i,м}$	i	$l_{i,м}$	i	$l_{i,м}$	i	$l_{i,м}$	i	$l_{i,м}$
1	274.35	21	273.95	41	273.92	61	275.30	81	277.78
2	274.57	22	274.23	42	274.95	62	275.23	82	273.91
3	276.68	23	274.32	43	276.10	63	275.52	83	275.75
4	276.17	24	273.38	44	272.67	64	276.03	84	276.48
5	275.81	25	278.03	45	274.07	65	276.56	85	273.43
6	273.50	26	274.72	46	273.02	66	273.75	86	274.60
7	276.65	27	276.87	47	274.65	67	274.76	87	273.03
8	275.81	28	277.00	48	275.52	68	274.24	88	272.71
9	273.28	29	275.34	49	275.47	69	277.07	89	274.94
10	275.30	30	275.98	50	276.72	70	274.56	90	275.28
11	276.86	31	275.61	51	275.15	71	277.37	91	274.31
12	274.95	32	276.41	52	275.40	72	275.25	92	271.99
13	275.73	33	274.50	53	275.09	73	276.89	93	274.09
14	274.91	34	273.64	54	273.35	74	274.90	94	273.24
15	277.92	35	274.85	55	273.86	75	275.89	95	276.75
16	274.53	36	276.56	56	275.66	76	276.40	96	274.73
17	272.91	37	275.18	57	273.83	77	276.08	97	274.69
18	276.70	38	274.37	58	277.08	78	274.00	98	274.92
19	275.35	39	277.17	59	276.20	79	274.92	99	275.08
20	275.30	40	274.74	60	274.63	80	274.33	100	274.49

Таблица 1.4

№ п/п	№ измерений i	Значения $l_{i, м}$	$l_i - \bar{l}, м$	$(l_i - \bar{l})^2, м^2$
1	2	3	4	5
1				
2				
3				
·				
·				
n				
		$\sum_{i=1}^n l_i = \dots$	$\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l}) = \dots$	$\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2 = \dots$

В таблице 1.4 приведены следующие обозначения: l_i - результат i-го

наблюдения расстояния до места повреждения; \bar{l} - результат измерения расстояния до места повреждения кабеля.

5. В процессе решения в соответствующие расчетные формулы необходимо подставлять исходные данные и результаты промежуточных вычислений, записанные в конце третьего и пятого столбцов табл. 1.4.

6. Чтобы избежать накопления погрешностей вычислений в процессе расчета, промежуточные вычисления необходимо выполнять с использованием большего числа значащих цифр, чем число значащих цифр, которое приводят в конечном результате. Поэтому при заполнении четвертого столбца табл. 1.4 следует приводить минимум **четыре значащие цифры** (смотри раздел 5 п.6,7), при заполнении пятого столбца - до **пяти** значащих цифр. Соответственно \bar{l} при использовании его в качестве промежуточного значения следует округлить, если это потребуется, до **шести** значащих цифр. Промежуточные значения S и $S(\bar{l})$ могут быть представлены **четырьмя** значащими цифрами.

7. Конечный результат для искомых величин S , $S(\bar{l})$ должен быть записан отдельно и округлен в соответствии с МИ1317-86 (см. раздел 2).

8. В связи с тем, что число единичных измерений n в данном контрольном задании относительно невелико, доверительный интервал результата измерения расстояния до места повреждения должен быть рассчитан в соответствии с интегральным законом распределения Стьюдента. Коэффициенты распределения Стьюдента $t_{\alpha}(n)$ для различных значений доверительной вероятности α и числа наблюдений n , приведены в [1] с. 413, [2] с. 418.

Следует иметь в виду, что в последней формуле, приведенной в [2] на с. 44, имеется несколько опечаток, и ею пользоваться нельзя. Расчет границ доверительного интервала ε следует проводить по формуле

$$\varepsilon = t_{\alpha}(n) * S(\bar{l}).$$

9. Результат измерения следует оформить в соответствии с нормативным документом МИ1317-86, требования которого подробно изложены в разделе 6, п. 6 - 8.

10. Систематическую погрешность измерения θ можно найти как отклонение результата измерения \bar{l} от действительного значения измеряемой физической величины l_{Δ} . Если последнее известно с достаточной точностью, то систематическую погрешность можно оценить как их разность $\theta = \bar{l} - l_{\Delta}$. Сравните полученное значение с границами доверительного интервала случайной составляющей погрешности результата измерения и определите – имеет ли место систематическая погрешность (неопределенность) или расхождение \bar{l} и l_{Δ} можно

объяснить случайными факторами.

11. При выполнении п.8 задания считаем, что результаты наблюдений распределены по нормальному закону. Точечная оценка дисперсии для результата наблюдений (квадрат СКО результата наблюдений) S^2 при большом числе наблюдений (в пределе при $n \rightarrow \infty$) стремится к постоянной величине – дисперсии результата наблюдений σ^2 [1] с.73. Известно [1] ф.4.24, [1] с.74, что оценка СКО результата измерения зависит от СКО результата наблюдений и числа наблюдений $s(\bar{\ell}) = S / \sqrt{n}$. Из этого выражения видно, что для изменения $s(\bar{\ell})$ необходимо изменить n . Отсюда можно получить новое число наблюдений, которое позволит уменьшить $s(\bar{\ell})$ в заданное число D раз.

Задача № 2

При определении вносимого ослабления четырехполюсника абсолютный уровень мощности p_n , отдаваемой генератором с внутренним сопротивлением R_r и ЭДС E в сопротивление нагрузки R_n (рисунок 2.1). Мощность в нагрузке измеряют с помощью либо вольтметра V , либо амперметра A при нормальных условиях измерения. Показания этих приборов и их метрологические характеристики (условное обозначение класса точности и конечное значение шкалы прибора или диапазона измерения) приведены в таблицах 1 и 2. В таблице 3 приведены: метрологические характеристики измерительного генератора (числовое значение сопротивления R_r и его относительная погрешность δR_r);

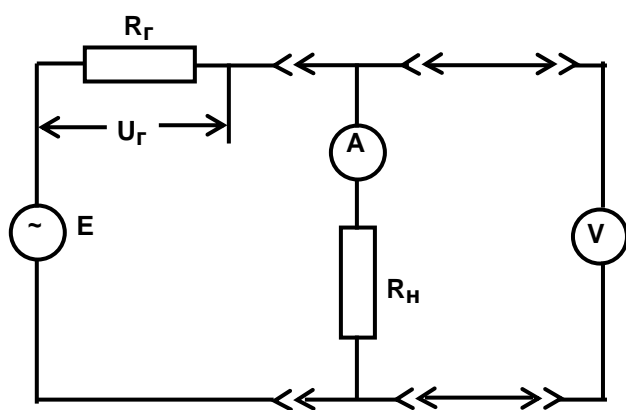


Рисунок 2.1

сопротивления нагрузки (значения сопротивления R_n и его относительная погрешность δR_n).

сопротивления нагрузки (значения сопротивления R_n и его относительная погрешность δR_n).

В таблицах 2.1 и 2.2 указаны значения: показание вольтметра U_v ; класс точности вольтметра; конечное значение шкалы или диапазон измерения вольтметра. Для амперметра приведены: показания амперметра I_A ; класс точности; конечное значение шкалы или диапазон измерения амперметра.

Таблица 2.1

М	0	1	2	3	4
Показание вольтметра U_v , В	7,2	-	11,52	-	15,4
Класс точности вольтметра %	2,5	-	1/0,5	-	4
Конечное значение шкалы вольтметра или диапазон измерения, В	0 ÷ 10	-	0 ÷ 20	-	0 ÷ 50
Показание амперметра I_A , мА	-	19	-	45	-
Класс точности амперметра %	-	2	-	1,5	-
Конечное значение шкалы амперметра или диапазон измерения, мА	-	-50 ÷ 50	-	0 ÷ 100	-

Таблица 2.2

М	5	6	7	8	9
Показание вольтметра U_v , В	-	3,7	-	6,4	-
Класс точности вольтметра %	-	1,5	-	4	-
Конечное значение шкалы вольтметра или диапазон измерения, В	-	-10 ÷ 10	-	0 ÷ 10	-
Показание амперметра I_A , мА	33,2	-	11	-	32,8
Класс точности амперметра %	0,5/0,2	-	1,5	-	0,5
Конечное значение шкалы амперметра или диапазон измерения, мА	0 ÷ 100	-	0 ÷ 30	-	0 ÷ 50

Таблица 2.3

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_г, Ом	600	135	75	50	600	135	75	50	600	135
Относительная погрешность, $\delta_{R_{г}}$, %	5,0	4,8	7,2	3,4	6,3	7,4	8,6	4,1	2,5	4,3
R_н, Ом	1300	700	450	300	1500	900	350	550	1700	1200
Относительная погрешность, $\delta_{R_{н}}$, %	1,5	2,0	3,5	4,2	1,5	5,0	2,4	4,6	2,0	1,8
Определить Абсолютный уровень напряжения	$\rho_{Ун}$	$\rho_{Уг}$	$\rho_{Е}$	$\rho_{Ун}$	$\rho_{Уг}$	$\rho_{Е}$	$\rho_{Ун}$	$\rho_{Уг}$	$\rho_{Е}$	$\rho_{Уг}$
Определить абсолютный уровень мощности	$\rho_{г}$	$\rho_{н}$	ρ_{Σ}	ρ_{Σ}	$\rho_{г}$	$\rho_{н}$	$\rho_{н}$	ρ_{Σ}	$\rho_{г}$	$\rho_{н}$

В зависимости от варианта, определяемого последними двумя цифрами М и N, необходимо определить в соответствии с таблицей 2.3.

1. Абсолютный уровень напряжения $\rho_{Ун}$ на сопротивлении нагрузки или абсолютный уровень падения напряжения $\rho_{Уг}$ на внутреннем сопротивлении генератора, или абсолютный уровень ЭДС генератора $\rho_{Е}$.

2. Абсолютный уровень мощности $\rho_{г}$, выделяемой на внутреннем сопротивлении генератора, или абсолютный уровень мощности $\rho_{н}$, выделяемой на сопротивлении нагрузки, или абсолютный уровень суммарной мощности ρ_{Σ} , выделяемой на внутреннем сопротивлении генератора и сопротивлении нагрузки.

3. Оценить границы абсолютной погрешности измерения абсолютных уровней напряжения и мощности, определенных в п.1 и п.2.

4. Оформить результаты измерения абсолютных уровней напряжения и мощности в соответствии с нормативными документами.

Методические указания к решению задачи

1. Прежде чем приступить к решению задачи, необходимо изучить разделы курса, в которых рассматриваются погрешности прямых и косвенных измерений [1] Гл. 4, §§ 4.3-4.5; [2] Гл. 2, §§ 2.3-2.5 . Кроме того, нужно вспомнить те разделы курса ТЭЦ, где изложены вопросы расчета мощности по заданным значениям сопротивления и напряжения или тока.

2. В предлагаемой задаче измерение уровней напряжений и мощностей является косвенным. Эти величины определяют через их функциональные зависимости от известных величин, определенных прямыми измерениями. Методику оценки погрешности косвенных измерений Вы можете найти в [1] стр. 80-82, [2] стр. 47. Абсолютные уровни рассматриваемых выше величин являются логарифмическими зависимостями. Подробные сведения об уровнях можно найти в разделах, в которых рассматриваются вопросы измерения ослабления (затухания) в [1] с. 297-306, [2] с. 345-366.

3. Решение задачи необходимо начать с вывода аналитических выражений искомых уровней, в которые в качестве аргументов входят величины, подвергаемые прямым измерениям (они заданы в условии задачи). Затем необходимо вывести аналитические выражения для вычисления границ погрешности измеряемых уровней. Для определения коэффициентов влияния погрешностей аргументов на погрешность результата косвенного измерения необходимо вспомнить нахождение частной производной $\partial F/\partial x_i$, где F – функциональная зависимость искомой величины от измеренных аргументов (x_i). Для нахождения частной производной воспользуйтесь математическими справочниками. В этой задаче необходимо много раз находить частную производную логарифмической функции. Напомним, что производная $(\lg x)$ равна $(\lg e)/x$. Где «e» основание натурального логарифма. После оценки погрешности прямых измерений по метрологическим характеристикам средств измерений, приведенным в таблицах 1, 2, 3., в найденные аналитические выражения подставляют числовые значения аргументов, приведенных так же в таблицах 1, 2, 3 и вычисленные ранее оценки погрешности.

4. Чтобы не накапливалась погрешность вычислений в процессе расчетов, промежуточные вычисления необходимо выполнять в соответствии с рекомендациями раздела 5 п.6.7.

5. Оформление результатов косвенных измерений должно быть выполнено в соответствии с МИ1317-86, подробно изложенными в разделе V, п. 6 - 9.

6. В качестве примера определим абсолютный уровень ЭДС E , если известно значение протекающего тока I_A через нагрузку R_H . Используя закон Ома, выразим ЭДС E через известные параметры: $E=I_A(R_r+R_H)$. Абсолютный уровень ЭДС E равен ([1] с.301; [2] с.347):

$$\rho_E = 20 \lg(E/U_0) = 20 \lg ((I_A (R_r + R_H)) / U_0), \text{ дБ,}$$

где $U_0 = 0,775 \text{ В}$ при градуировочном сопротивлении равном 600 Ом .

Для оценки границ абсолютной погрешности измерения абсолютного уровня ЭДС воспользуемся выражением для оценки погрешности косвенного измерения ([1] с.81; [2] с.47)

$$\Delta p_E = \sqrt{\left(\frac{\partial p_E}{\partial I_A} \Delta I_A\right)^2 + \left(\frac{\partial p_E}{\partial R_\Gamma} \Delta R_\Gamma\right)^2 + \left(\frac{\partial p_E}{\partial R_H} \Delta R_H\right)^2 + \left(\frac{\partial p_E}{\partial U_0} \Delta U_0\right)^2}.$$

Найдем частную производную функции p_E по всем аргументам

$$\Delta p_E = \sqrt{\left(20 \lg e \frac{U_0}{I_A (R_\Gamma + R_H)} \frac{(R_\Gamma + R_H)}{U_0} \Delta I_A\right)^2 + \left(20 \lg e \frac{U_0}{I_A (R_\Gamma + R_H)} \frac{I_A}{U_0} \Delta R_\Gamma\right)^2 + \left(20 \lg e \frac{U_0}{I_A (R_\Gamma + R_H)} \frac{I_A}{U_0} \Delta R_H\right)^2},$$

так как U_0 – является константой, погрешность которой пренебрежимо мала, то влиянием этого аргумента можно пренебречь. После преобразований получим выражение:

$$\begin{aligned} \Delta p_E &= 20 \lg e \sqrt{\left(\frac{\Delta I_A}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_\Gamma}{R_\Gamma + R_H}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_H}{R_\Gamma + R_H}\right)^2} = \\ &= 8,68 \sqrt{\delta_{I_A}^2 + \delta_{R_\Gamma}^2 \left(\frac{R_\Gamma}{R_\Gamma + R_H}\right)^2 + \delta_{R_H}^2 \left(\frac{R_H}{R_\Gamma + R_H}\right)^2}, \text{ дБ} \end{aligned} \quad (1)$$

в которое входят относительные погрешности аргументов и значения сопротивлений. Относительные погрешности сопротивлений и их значения заданы в исходных данных. Относительную погрешность амперметра можно оценить по классу точности прибора γ . $\gamma = \frac{\Delta I_{пред.}}{I_{норм.}} 100\%$,

откуда абсолютная погрешность $\Delta I_{пред.} = \frac{\gamma}{100} I_{норм.}$, а относительная

$$\delta_{I_A} = \frac{\Delta I_{пред.}}{I_{измер.}} 100\% = \gamma \frac{I_{норм.}}{I_{измер.}} 100\%. \quad (2)$$

В этих выражениях нормирующее значение $I_{норм.}$ определяют по условному обозначению класса точности в соответствии с ПРИЛОЖЕНИЕМ. В выражение 1 можно подставить числовые значения из исходных данных и из выражения 2, тем самым оценить предел допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня.

ЗАДАЧА №3

На рисунке 2 показаны осциллограммы периодических сигналов, которые наблюдали на выходе исследуемого устройства.

Требуется найти:

1. Аналитическое описание исследуемого сигнала.
2. Пиковое U_m , среднее U_{cp} , средневыпрямленное $U_{cp.e}$ и среднеквадратическое U значения напряжения выходного сигнала заданной Вам формы.
3. Пиковое U_m^{\sim} , среднее U_{cp}^{\sim} , средневыпрямленное $U_{cp.e}^{\sim}$ и среднеквадратическое U^{\sim} значения напряжения переменной составляющей заданного выходного сигнала.
4. Коэффициент амплитуды K_a , формы K_ϕ и усреднения K_y всего исследуемого сигнала и коэффициент амплитуды K_a^{\sim} , формы K_ϕ^{\sim} и усреднения K_y^{\sim} его переменной составляющей.
5. Показания вольтметров с различными типами преобразователей с закрытым (**З**) или открытым (**О**) входом в соответствии с заданием, если вольтметры проградуированы в среднеквадратических значениях для гармонического сигнала.
6. Оценить предел допускаемой относительной погрешности (расширенной неопределенности) показаний вольтметров, определенных в 5 пункте задания, если используемые измерительные приборы имеют класс точности γ и конечное значение шкалы (предел измерения) U_k , указанные в таблицах 3.1 и 3.2.
7. Оформить результаты измерений напряжения вольтметрами в соответствии с нормативными документами, если измерения проведены в нормальных условиях.

Таблица 3.1

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Рис. 1.2	б	в	д	ж	з	а	к	и	з	е	
T , мкс	12	75	30	25	10	60	100	18	90	80	
τ , мкс	4	30	15	15	5	20	50	9	60	20	
Класс точности γ	0,5	0,2	2	0,6	0,15	2,5	1	1,5	0,4	0,25	
Найти показания вольтметров	U_{V1}	СВ, О	ПВ, З	СВ, О	СВ, З	КВ, О	КВ, З	ПВ, О	ПВ, З	СВ, О	СВ, З
	U_{V2}	СВ, З	СВ, О	ПВ, З	ПВ, О	СВ, З	СВ, О	ПВ, З	КВ, О	ПВ, З	СВ, О
	U_{V3}	КВ, О	КВ, З	КВ, З	КВ, О	СВ, О	ПВ, З	СВ, З	СВ, О	КВ, З	КВ, О
	U_{V4}	ПВ, З	ПВ, О	КВ, О	ПВ, З	ПВ, З	КВ, О	КВ, О	КВ, З	КВ, О	ПВ, З

Обозначения в таблице:

- **ПВ** – пиковый вольтметр;
- **СВ** – вольтметр с преобразователем средневыпрямленных значений;

- **KB** – вольтметр с преобразователем среднеквадратических значений;
- **О** – вольтметр с открытым входом;
- **З** – вольтметр с закрытым входом.

Таблица 3.2

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_к , В	1	3	10	30	5	20	15	2	300	50
U_м , В	0,75	1,5	6	21	3	15	12	1,2	270	35
k	0,25	0,3	0,15	0,2	0,12	0,18	0,22	0,28	0,32	0,35

Методические указания к решению задачи.

1. Для выполнения данного задания достаточно изучить раздел измерение напряжения в §§ 2.2, 5.1 и 5.2 [1] и §§ 2.6, 3.2, 3.3 и 3.7 [2].

2. В задаче 3 рассматриваются вопросы измерения периодических несинусоидальных электрических сигналов $u(t)$ различной формы. Напомним, что наиболее распространенными параметрами таких сигналов, на которые реагируют вольтметры, являются пиковые вверх U_{m+} и – вниз U_{m-} , среднее U_{cp} (постоянная составляющая), средневыпрямленное $U_{cp.в}$ и среднеквадратическое U значения напряжения. Последние три параметра являются интегральными. В общем виде их описывают следующими соотношениями:

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt ; \quad (3.1)$$

$$U_{cp.в} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt ; \quad (3.2)$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} . \quad (3.3)$$

Связь между указанными параметрами периодического сигнала описывает коэффициентами амплитуды K_a , формы K_ϕ и усреднения K_y . Эти коэффициенты соответственно равны:

$$K_a = U_m / U$$

$$K_\phi = U / U_{cp.в}$$

$$K_y = U_m / U_{cp.в} = K_\phi \cdot K_a$$

Для самоконтроля при решении задач следует иметь в виду, что

$$1 \leq K_a \leq K_\phi \leq K_y .$$

3. Чтобы определить параметры U_{cp} , $U_{cp.в}$ и U , нужно в приведенные выше формулы подставить аналитическое выражение $u(t)$. Поэтому решение задачи необходимо начать с математического описания сигнала. Например, сигнал $u(t)$, показанный на рисунке 3.1 а), можно описать следующим образом:

$$u(t) = \begin{cases} a + bt, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ -kU_m, & \text{при } \tau \leq t \leq T; \end{cases}$$

Коэффициенты линейной функции a и b легко определить из системы уравнений:

$$\begin{cases} \text{при } t = 0: a + b \cdot 0 = U_m; \\ \text{при } t = \tau: a + b \cdot \tau = 0; \end{cases} \quad \text{отсюда } a = U_m, \quad b = -U_m/\tau$$

Сигналы u) и k) на рисунке 2 на интервале от 0 до τ имеют синусоидальную форму с частотой $f = 1/(2\tau)$, то есть $u(t) = U_m \sin(2\pi/2\tau)t$

Для определения параметров напряжения переменной составляющей сигнала U_m , U_{cp} , $U_{cp.e}$, U нужно в формулы 3.1 ÷ 3.3 подставить аналитическое выражение переменной составляющей сигнала $u(t)$, которое легко найти, вычтя из сигнала $u(t)$ среднее значение напряжения U_{cp} :

$$u(t) = u(t) - U_{cp}$$

Таким образом, для приведенного выше примера получим:

$$u(t) = \begin{cases} U_m - \frac{U_m}{\tau}t - U_{cp}, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau; \\ -kU_m - U_{cp}, & \text{при } \tau \leq t \leq T; \end{cases}$$

4. При определении показаний вольтметров необходимо учитывать, что приборы разных видов, в зависимости от типа применяемого преобразователя, реагируют либо на пиковое, либо на средневыпрямленное, либо на среднеквадратическое значения напряжения измеряемого сигнала. Тем не менее, шкалы большинства электронных вольтметров переменного тока градуируют, как правило, в среднеквадратических значениях напряжения гармонического сигнала (синусоидальной формы). В указанном случае только показания вольтметра с преобразователем среднеквадратического значения равны измеряемому параметру для любой формы измеряемого сигнала. При закрытом входе показание такого вольтметра равно среднеквадратическому значению переменной составляющей сигнала: $U_{V(ск.закр)} = U$

Показания пикового вольтметра и вольтметра средневыпрямленного значения, проградуированных в среднеквадратических значениях для гармонического сигнала, равны измеряемому параметру только для сигнала синусоидальной формы.

При этом показания пикового вольтметра:

с открытым входом $U_{V(пик.откр)} = U_m / K_{a.sin}$,

с закрытым входом $U_{V(пик.закр)} = U_m / K_{a.sin} = (U_m - U_{cp}) / K_{a.sin}$.

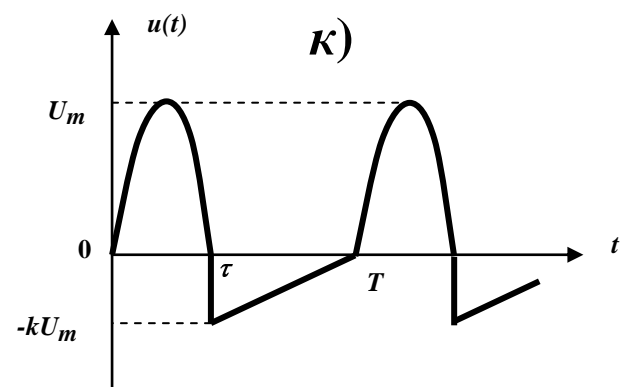
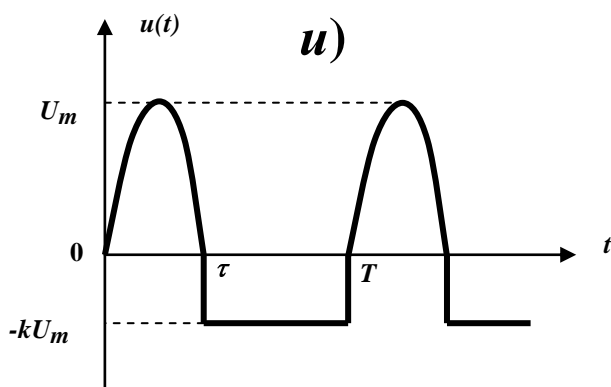
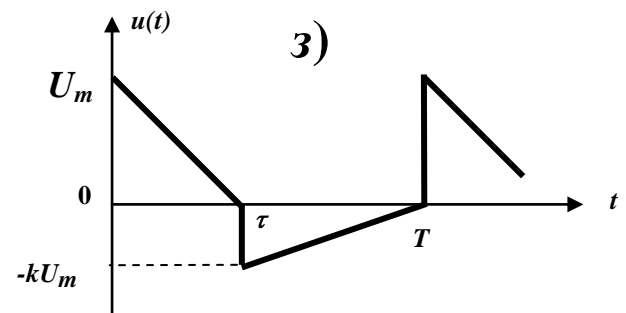
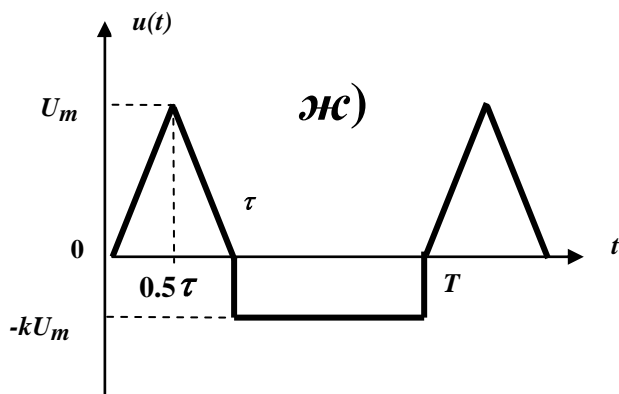
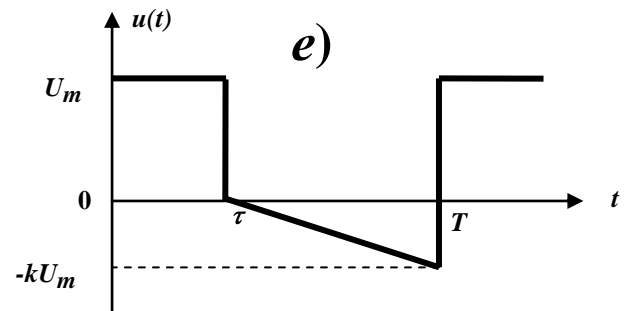
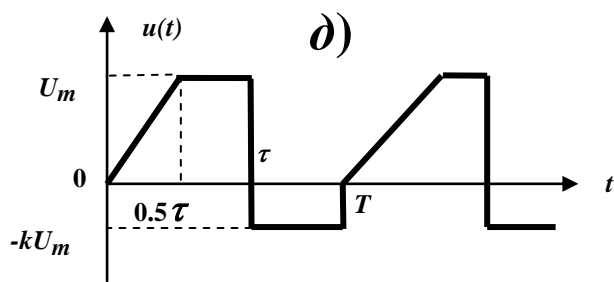
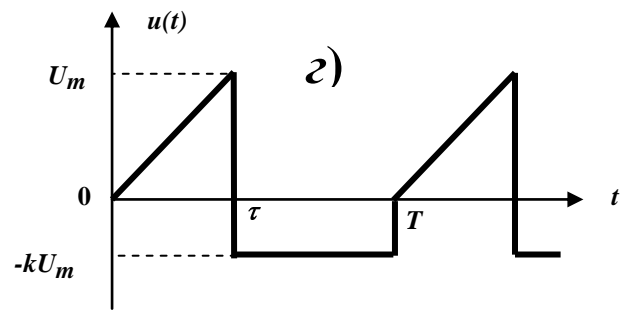
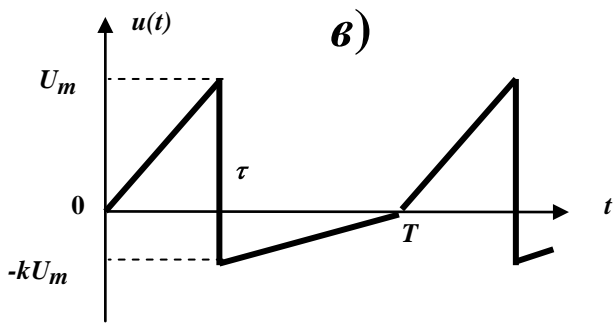
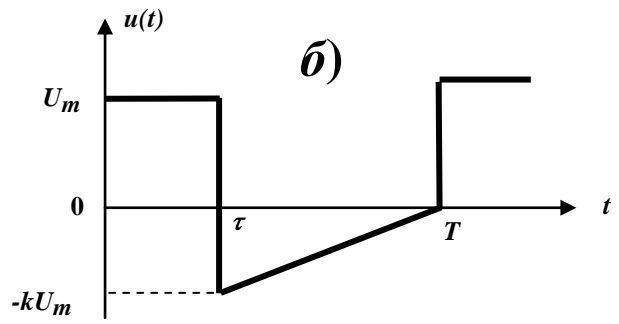
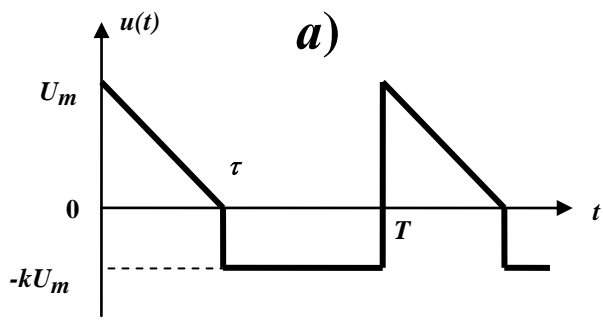


Рисунок 3.1

Показания вольтметра, имеющего преобразователь средневыпрямленного значения, равны:

$$U_{V(ср.в.,откр)} = U_{ср.в.} * K_{ф.сін} \text{ И } U_{V(ср.в.,закр)} = U_{ср.в.} * K_{ф.сін}$$

Здесь $K_{а.сін}$ и $K_{ф.сін}$ - коэффициенты амплитуды и формы гармонического (синусоидальной формы) сигнала. Наиболее полно эти вопросы освещены в [1], с. 85-91, а также в [4], с. 172-176. Однако, в примере 2, приведенном в [1], есть ошибки, поэтому будьте внимательны при его использовании.

Следует отметить, что шкалы импульсных вольтметров градуируют в пиковых значениях напряжения, т.е. в значениях, соответствующих типу преобразователя прибора. Для таких вольтметров показания равны пиковому значению сигнала при открытом входе $U_{V(пик.пик.откр)} = U_m$ и пиковому значению переменной составляющей сигнала при закрытом входе $U_{V(пик.,пик.закр)} = U_m$

5. При оценке предела допускаемой относительной погрешности (расширенной неопределенности) показаний вольтметров δ_V , нужно иметь в виду, что предел допускаемой абсолютной погрешности $\Delta U_{пр}$, определенный по классу точности, не зависит от размера измеряемого напряжения (показания вольтметра).

6. Перед оформлением результатов измерения внимательно изучите п.8 раздела V настоящих методических указаний, округлите абсолютную погрешность показаний вольтметров и по этому критерию округлите показания вольтметров. Запишите результат измерения в форме:

$$U_V \pm \Delta U_{пр} ; P ; \text{ условия измерения. или}$$

$$U_V \pm \delta_V ; P ; \text{ условия измерения, где}$$

P – вероятность, которую при отсутствии сведений о ней в метрологических характеристиках прибора, принимают равной **0,997**.

ЗАДАЧА №4

При измерении частоты генератора методом сравнения (рис. 4.1) к входу канала горизонтального отклонения (канала "X") осциллографа приложен гармонический сигнал от генератора образцовой частоты:

$$U_{Xобр} = U_{mобр} \sin(\omega_{обр} t + \psi),$$

а к входу канала вертикального отклонения (канала "Y") – гармонический сигнал исследуемого генератора:

$$U_{Yиссл} = U_{mиссл} \sin(\omega_{иссл} t + \varphi), \text{ где}$$

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота,

f – циклическая частота,

ψ и φ – начальные фазовые углы образцового и исследуемого сигналов соответственно. Измерения проведены в нормальных условиях, границы относительной погрешности частоты образцового генератора $\delta_{fобр}$ определены с вероятностью $P = 0.997$.

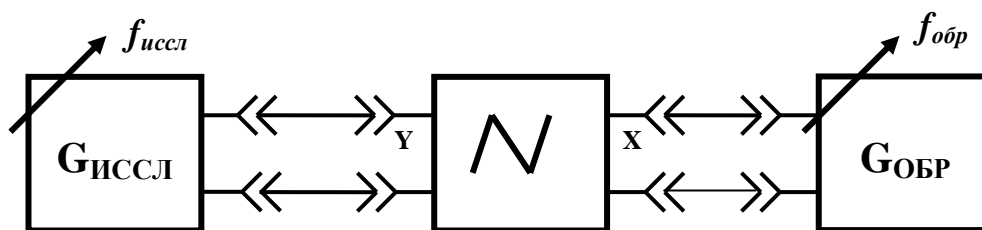


Рисунок 4.1

Задание.

1. Построить фигуру Лиссажу, которую можно наблюдать на экране осциллографа при заданных значениях $U_{т\text{обр}}$, $f_{обр}$, ψ и $U_{т\text{иссл}}$, $f_{иссл}$, φ , считая коэффициенты отклонения каналов Y ($k_{о.в}$) и X ($k_{о.г}$) одинаковыми и равными 1 В/см .

2. Определить по заданным значениям частот сигналов ожидаемое отношение числа точек пересечений фигуры Лиссажу с горизонтальной секущей $n_{г}$ к числу точек пересечений фигуры Лиссажу с вертикальной секущей $n_{в}$. Убедиться, что отношение $n_{г}/n_{в}$, определенное по фигуре, соответствует ожидаемому.

3. Оценить абсолютную $\Delta_{f_{ср}}$ и относительную $\delta_{f_{ср}}$ погрешности (неопределенности) сравнения частот исследуемого и образцового генераторов, вызванную изменением фигуры Лиссажу, если за время, равное T секунд, она повторно воспроизводилась 5 раз.

4. Оценить границы абсолютной $\Delta_{f_{иссл}}$ и относительной $\delta_{f_{иссл}}$ погрешности (расширенной неопределенности) измерения частоты исследуемого генератора, если известны границы относительной погрешности (расширенной неопределенности) частоты образцового генератора $\delta_{f_{обр}}$.

Таблица 4.1

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{т\text{обр}}$, В	3	1,5	2	2,5	2,2	3,5	2,8	4	1	1,8
$f_{обр}$, Гц	1400	2800	4200	5600	1400	2800	4200	5600	1400	2800
φ , рад	$\pi/2$	0	π	$3\pi/2$	$\pi/2$	π	$3\pi/2$	0	$\pi/2$	$3\pi/2$
$\delta_{f_{обр}}$, %	0,54	0,25	0,15	0,053	0,34	0,13	0,18	0,83	0,67	0,46

5. Записать результат измерения частоты $f_{иссл}$ в соответствии с нормативными документами в двух вариантах: 1) с указанием границ аб-

солютной погрешности (расширенной неопределенности); 2) с указанием границ относительной погрешности.

Исходные данные для решения приведены в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.2

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T, с	6	4	16	9	7	8	12	15	5	10
ψ, рад	0	3π/2	π/2	π	π/2	3π/2	π/2	3π/2	π	0
f_{иссл}, Гц	4200	2800	1400	5600	4200	2800	1400	5600	2800	5600
U_{т иссл}, В	1	3	1,5	2	3,5	3,8	4	3,2	2,5	1,7

Методические указания к решению задачи

1. Прежде чем приступить к решению задачи, необходимо изучить разделы измерение частоты и анализ формы сигналов в §§ 7.1 ÷ 7.4 и 8.1 учебного пособия [1] (особое внимание обратите на изучение разделов 7.4 и 8.1) и §§ 5.1, 6.1 ÷ 6.6 и 8.2 учебника [2] (особенно внимательно изучите разделы 6.6 и 8.2).

2. Решение задачи начните с определения кратности частот образцового и исследуемого генераторов путем сокращения дроби, равной отношению частоты образцового генератора $f_{обр}$ к частоте исследуемого $f_{иссл}$, до простых чисел. Это позволит определить наиболее целесообразные масштабы для построения графика и найти соотношение n_r/n_b .

3. График необходимо выполнить на миллиметровой бумаге с соблюдением всех рекомендаций, изложенных в разделе V, п.8. При этом нужно помнить, что координата X на экране осциллографа пропорциональна мгновенному значению напряжения $U_{X\text{обр}}$, а координата Y – $U_{Y\text{иссл}}$:

$$X = k_{o,r} * U_{X\text{обр}} ; \quad Y = k_{o,b} * U_{Y\text{иссл}} , \text{ где}$$

$k_{o,r}$ и $k_{o,b}$ – коэффициенты отклонения горизонтального и вертикального каналов осциллографа соответственно.

При построении следует иметь в виду, что ψ и φ - это начальные фазовые углы напряжений $U_{X\text{обр}}$ и $U_{Y\text{иссл}}$, при которых начинает формироваться фигура Лиссажу. Они соответствуют началу отсчета времени на графиках для указанных выше напряжений, т.е. моменту времени $t = 0$. Для построения фигуры Лиссажу полностью необходимо, чтобы по оси времени $U_{X\text{обр}}$ было отложено n_b периодов сигнала, а по оси времени $U_{Y\text{иссл}}$ необходимо отложить n_r периодов сигнала. На меньшем из периодов должно быть взято не менее четырех точек построения, а

масштаб по осям времени и напряжения для сигналов $U_{X \text{ обр}}$ и $U_{Y \text{ иссл}}$ следует взять одинаковым. После построения фигуры убедитесь, что отношение количества точек пересечений фигуры с горизонтальной секущей n_{Γ} к количеству точек пересечений с вертикальной секущей $n_{\text{В}}$ соответствует отношению, определенному в п.1, п.2 задачи.

4. При расчете абсолютной $\Delta_{f_{cp}}$ и относительной $\delta_{f_{cp}}$ погрешности сравнения частот исследуемого и образцового генераторов, вызванной изменением фигуры Лиссажу во времени, следует иметь в виду, что для замкнутой фигуры Лиссажу, обладающей полной симметрией относительно вертикальной и горизонтальной осей, абсолютную погрешность рассчитывают по формуле $\Delta_{f_{cp}} = H/2T$, а для всех остальных случаев $\Delta_{f_{cp}} = H/T$, где H - число повторений фигуры Лиссажу первоначальной формы за время T . Разберитесь, в чем здесь причина (см. рис. 8.1 на с. 256 учебника [2]). В связи с тем, что направление вращения фигуры Лиссажу неизвестно, погрешности $\Delta_{f_{cp}}$ и $\delta_{f_{cp}}$ могут принимать как положительный, так и отрицательный знак.

5. Рассмотрим методику оценки границ погрешности измерения частоты методом синусоидальной развертки (методом фигур Лиссажу). В этом случае осуществляется сравнение частот сигналов, поданных на входы X и Y осциллографа, по фигуре Лиссажу. Если фигура неподвижна, справедливо соотношение

$$f_Y = f_X \frac{n_{\Gamma}}{n_{\text{В}}}, \quad \text{где} \quad (4.1)$$

f_Y – частота сигнала, поданного на вход Y осциллографа (в рассматриваемой задаче $f_{\text{иссл}}$);

f_X – частота сигнала, поданного на вход X осциллографа (в рассматриваемой задаче $f_{\text{обр}}$);

n_{Γ} – максимальное число пересечений наблюдаемой фигуры Лиссажу с горизонтальной секущей;

$n_{\text{В}}$ – максимальное число пересечений наблюдаемой фигуры Лиссажу с вертикальной секущей.

Примечание: для избежания ошибок в определении числа пересечений, секущие не должны проходить через узел.

В этом случае относительная погрешность измерения частоты $\delta_{f_{\text{иссл}}}$ определяется двумя компонентами: относительной погрешностью частоты образцового источника $\delta_{f_{\text{обр}}}$ и относительной погрешностью сравнения $\delta_{f_{cp}}$:

$$\delta_{f_{\text{иссл}}} = \delta_{f_{\text{иссл}}(f_{\text{обр}})} + \delta_{f_{cp}} \quad (4.2)$$

$\delta_{f_{\text{иссл}}(f_{\text{обр}})}$ - компонента погрешности измеряемой частоты, вызванная погрешностью частоты образцового генератора.

Граница абсолютной погрешности измеряемой частоты, вызванная погрешностью частоты образцового генератора, $\Delta_{f_{иссл}(f_{обр})}$ связана с границей абсолютной погрешности частоты образцового генератора $\Delta_{f_{обр}}$ соотношением, которое можно установить с помощью методики оценки погрешности косвенных измерений (смотрите методические указания к задаче 2):

$$\Delta_{f_{иссл}(f_{обр})} = \frac{n_{\Gamma}}{n_{B}} \Delta_{f_{обр}} \quad (4.3)$$

или, перейдя к относительным погрешностям, получим

$$\delta_{f_{иссл}(f_{обр})} = \frac{\Delta_{f_{иссл}(f_{обр})}}{f_{иссл}} = \frac{\Delta_{f_{обр}}}{f_{обр}} = \delta_{f_{обр}} \quad (4.4)$$

Следовательно, $\delta_{f_{иссл}} = \delta_{f_{обр}} + \delta_{f_{ср}}$.

6. Перед выполнением п.5 задачи внимательно изучите правила оформления результатов измерений, изложенные в разделе V (п.6-8) настоящих методических указаний.

Оценка инструментальной погрешности измерений

Инструментальную погрешность нормируют путем указания пределов допускаемой погрешности (расширенной неопределенности), которые указывают в метрологических характеристиках средства измерения.

Предел допускаемой погрешности $\Delta_{\text{пред.}}$ – наибольшая по модулю погрешность средства измерения, при которой оно еще может быть допущено к применению. Фактически, это граница погрешности, за которую она не должна выходить. Таким образом, это позволяет определить границы, в которых находится истинное значение измеряемой величины A :

$$A_x + \Delta_{\text{пред.}} \geq A \geq A_x - \Delta_{\text{пред.}}$$

Пределы допускаемых погрешностей средств измерений могут быть указаны в метрологических характеристиках в разной форме:

1. *в форме абсолютной погрешности*: класс точности обозначается М, N, O, R... или I, II, III...

1.1 $\Delta_{\text{пред.}} = a$;

1.2 $\Delta_{\text{пред.}} = (a + bA_k)$;

1.3 $\Delta_{\text{пред.}} = \varphi(A_k)$,

где (a) и (b) константы, указываемые в метрологических характеристиках,

$\varphi(A_k)$ – может быть задана формулой, отличной от формулы указанной в пункте 1.2, графиком или таблицей;

2. *в форме относительной погрешности*:

2.1 класс точности обозначен ©, где c число из ряда: $(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 5) \cdot 10^n$, где $n = 1, 0, -1, -2...$

$$\delta_{\text{пред.}} = c [\%], \quad \Delta_{\text{пред.}} = \frac{cA_n}{100}$$

2.2 класс точности обозначен c/d – где c и d числа из ряда, указанного в пункте 2.1;

$$\delta_{\text{пред.}} = c + d \left(\left| \frac{A_k}{A_n} \right| - 1 \right)$$

где A_k – наибольший по модулю из диапазонов измерения;

A_n – показания прибора

2.3 если класс точности обозначен, как в пункте 1, то $\delta_{пред}$ задают либо формулой, отличной от формулы указанной в пункте 2.2, либо графиком, либо таблицей;

3. в форме приведенной погрешности:

3.1 если класс точности обозначен γ , где γ – число из ряда, указанного в пункте 1, тогда

$$\Delta_{пред.} = \frac{\gamma}{100} A_n \quad \delta_{пред.} = \gamma \frac{A_n}{A_n} [\%], \text{ где:}$$

A_n – нормирующее значение, которое может быть равно:

а) $A_n = A_k$, если нулевая отметка находится на краю шкалы;

б) $A_n = |A_{k1}| + |A_{k2}|$, если нулевая отметка находится внутри рабочей части шкалы;

в) $A_n = |A_{k1}| - |A_{k2}|$, если нулевая отметка находится вне пределов шкалы (приборы с условным нулем), где A_k , A_{k1} и A_{k2} – конечные значения шкалы прибора. При измерении нужно стремиться, чтобы показание прибора было как можно ближе к нормирующему значению. Вышеуказанные обозначения применяют для приборов с равномерной шкалой.

3.2 Для приборов с существенно неравномерной шкалой:

Обозначение γ , тогда

$$\Delta_{пред.} = \frac{\gamma}{100} \frac{A_n}{S},$$

$$S = \frac{\Delta \ell}{c}$$

где A_n – нормирующее значение, равное геометрической длине всей шкалы приборов;

S – чувствительность приборов в точке отсчета показания;

$\Delta \ell$ – размер одного деления в точке отсчета показания;

c – цена этого деления.