

Федеральное агентство связи  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»  
Уральский технический институт связи и информатики (филиал)



Уральский технический  
институт связи  
и информатики

**К.В. Кустышева**

# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ**

Методические указания по выполнению домашней контрольной работы  
для студентов заочной формы обучения, на базе среднего образования,  
обучающихся по направлению подготовки  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
(*профиль «Транспортные сети и системы связи»*)

Екатеринбург  
2019

УДК 621.31  
ББК 30.10

Рецензент: доцент кафедры МЭС Гниломёдов Е.И.

Кустышева К.В.

Метрология, стандартизация и сертификация: методические указания по выполнению домашней контрольной работы для студентов заочной формы обучения, на базе среднего образования направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по профилю «Транспортные сети и системы связи», / К.В. Кустышева, Екатеринбург: УрТИСИ СибГУТИ, 2019.- 29с.

Методические указания по выполнению домашней контрольной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» предназначены для студентов заочной формы обучения, на базе среднего образования направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по профилю: «Транспортные сети и системы связи».

Рекомендовано НМС УрТИСИ СибГУТИ в качестве методических указаний по выполнению домашней контрольной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов заочной формы обучения, на базе среднего образования направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по профилю: «Транспортные сети и системы связи».

УДК 621.31  
ББК 30.10

Кафедра многоканальной электрической связи  
© УрТИСИ СибГУТИ, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка	4
1 Содержание учебной дисциплины	5
2 Методические указания по выполнению самостоятельной работы	8
3 Порядок обработки результатов измерений	9
4 Форма представления результата измерения	10
5 Индивидуальные задания и методические указания по выполнению домашней контрольной работы	12
Примерные вопросы к экзамену	26
Литература	29

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Домашняя контрольная работа по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» направлены на получение практических навыков обработки результатов измерений электронными приборами общего назначения – электронными вольтметрами, амперметрами, электронным осциллографом и цифровым частотомером, а также усвоение практических методов выбора средств измерений.

К выполнению домашней контрольной работы следует приступить после предварительного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы. Для более детального изучения измерительных приборов, их метрологических характеристик, правил эксплуатации и порядка обработки результатов измерения рекомендуется использовать технические описания приборов (вольтметров, генераторов, электронных осциллографов и т.п.), которые имеются на предприятиях связи. Допускается использование материалов Internet с учетом срока их издания и актуальности.

Работа должна быть выполнена в соответствии с указаниями по оформлению домашней контрольной работы.

Домашняя контрольная работа выполняется каждым студентом индивидуально в рукописном виде.

**Контрольное задание, представленное в печатном виде, преподавателем проверяться не будет!**

# 1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Введение**

Предмет и задачи курса «Метрология, стандартизация и сертификация». Роль стандартизации и метрологии в современном производстве.

Программа курса. История развития стандартизации и метрологии и их роль в производстве.

## **Раздел 1 Основы стандартизации**

### **Тема 1.1 Цели и задачи стандартизации**

Основные понятия и определения в области стандартизации. Цели и задачи стандартизации. Виды стандартизации. Основные системы стандартов. Основные стандарты в области метрологического обеспечения предприятий связи.

### **Тема 1.2 Органы и службы стандартизации отрасли связи**

Организационная структура системы стандартизации отрасли связи, задачи основных подразделений.

## **Раздел 2 Основные понятия метрологии**

### **Тема 2.1 Цели и задачи метрологии**

Метрология - наука об измерениях. Основные задачи метрологии.

### **Тема 2.2 Организационная структура ведомственной метрологической службы. Органы государственного надзора за единством измерений**

Структура метрологической службы отрасли связи, задачи основных подразделений, взаимодействие с государственной метрологической службой. Государственный надзор за обеспечением единства измерений.

### **Тема 2.3 Основные элементы процесса измерений. Классификация измерений**

Понятие процесса измерения. Классификация измерений. Требования к результату измерений. Основные элементы процесса измерений: объект измерения, средства измерения, метод, условия измерения. Обеспечение единства измерений. Классификация методов измерений.

### **Тема 2.4 Единицы измерения физических величин**

Международная система единиц СИ. Основные, производные, специальные единицы. Алгебра размерностей. Понятие уровней электрического сигнала.

## **Раздел 3 Погрешности измерений**

### **Тема 3.1 Классификация погрешностей измерений**

Классификация погрешностей по способу вычисления, причинам возникновения, характеру проявления, условиям измерений. Стандартная форма представления результатов измерений согласно МИ 1317-86.

### **Тема 3.2 Оценка случайных погрешностей прямых измерений**

Причины возникновения случайных погрешностей. Законы распределения случайных погрешностей. Нормальный закон распределения погрешностей. Оценка случайных погрешностей прямых равноточных измерений.

### **Тема 3.3 Оценка систематической погрешности измерений**

Классификация систематических погрешностей по причине возникновения. Методы обнаружения и исключения систематических погрешностей.

### **Тема 3.4 Погрешности косвенных измерений**

Понятие, оценка систематических и случайных погрешностей косвенных измерений.

## **Раздел 4 Средства измерений**

### **Тема 4.1 Классификация средств измерений**

Мера, измерительный преобразователь, измерительный прибор, измерительная установка, измерительная система. Метрологические характеристики средств измерений. Типы измерительных приборов по назначению, типу элементной базы, принципу действия.

### **Тема 4.2 Оценка инструментальной погрешности**

Нормирование погрешности средств измерений, классы точности аналоговых приборов. Поверка средств измерений.

## **Раздел 5 Общие электрорадиоизмерения**

### **Тема 5.1 Аналоговые электронные вольтметры**

Основные параметры негармонических сигналов - мгновенное, пиковое, амплитудное, средневыпрямленное, действующее напряжение. Коэффициенты формы и амплитуды.

Магнитно-электрические, электромагнитные, электродинамические амперметры. Принцип действия, основные свойства, область применения.

Классификация аналоговых вольтметров. Измерение параметров напряжения негармонических сигналов аналоговыми вольтметрами, обработка результатов измерений.

### **Тема 5.2 Цифровые вольтметры, принципы построения**

Назначение цифровых вольтметров, достоинства, типы ЦВ по принципу построения. Цифровой вольтметр с время-импульсным преобразователем: функциональная схема, принцип измерения напряжения, причины появления погрешности измерения, способ ее оценки. Метрологические характеристики.

### **Тема 5.3 Измерительные генераторы**

Назначение, классификация и основные метрологические характеристики измерительных генераторов. Требования, предъявляемые к ИГ.

ИГ синусоидальных сигналов - функциональные схемы, метрологические характеристики. Генераторы импульсных сигналов и сигналов специальной формы. Генераторы шумовых сигналов.

### **Тема 5.4 Электронный осциллограф**

Назначение, классификация ЭО. Получение изображения на экране ЭЛТ в режиме линейной развертки. Функциональная схема ЭО с аналоговым преобразованием сигнала.

Измерение параметров электрических сигналов ЭО в режиме линейной развертки. Причины возникновения погрешности, расчет погрешности измерений. Метрологические характеристики ЭО.

### **Тема 5.5 Измерение частотно-временных параметров электрических сигналов**

Измерение частоты и интервалов времени. Осциллографические методы измерения частоты в режимах линейной, синусоидальной и круговой разверток. Источники погрешности, порядок обработки результатов измерений.

Измерение частоты и периода сигналов методом дискретного счета. Оценка погрешности измерения.

Методы измерения разности фаз. Осциллографические методы измерения разности фаз, источники погрешности, обработка результатов измерений.

Цифровой фазометр: принцип действия, функциональная схема, источники погрешности, обработка результата измерения.

## **Раздел 6 Автоматизация измерений**

### **Тема 6.1 Основные направления автоматизации измерений**

Цели и задачи автоматизации измерений. Основные направления автоматизации.

### **Тема 6.2 Информационно-измерительные системы**

Принципы построения информационно-измерительных систем на основе государственной системы приборов. Стандартные интерфейсы измерительных систем.

## **Раздел 7 Основы сертификации**

### **Тема 7.1 Основные понятия сертификации**

Цели и задачи сертификации. Организационные методические принципы сертификации.

### **Тема 7.2 Сертификация средств измерений в отрасли связи**

Порядок сертификации средств измерений, используемых на первичной и вторичной сетях связи.

## **2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

2.1 Домашняя контрольная работа содержит 5 заданий по основным разделам курса.

2.2 Задачи в основном составлены по 100-вариантной схеме. Вариант задания в каждой задаче определяется ДВУМЯ ПОСЛЕДНИМИ ЦИФРАМИ ШИФРА СТУДЕНЧЕСКОГО БИЛЕТА: предпоследняя цифра шифра обозначена в таблицах контрольной работы буквой «п», последняя - буквой «т».

Шифр студенческого билета и номер варианта задания обязательно указываются студентом в начале работы.

2.3 Контрольную работу необходимо выполнить В РУКОПИСНОМ ВИДЕ в тетради в клетку или на листах формата А4.

Страницы тетради необходимо пронумеровать.

РАБОТА, ВЫПОЛНЕННАЯ В ПЕЧАТНОМ ВИДЕ, НЕ ПРОВЕРЯЕТСЯ преподавателем и не возвращается студенту.

2.4 Задания контрольной работы необходимо записывать полностью, с указанием численных значений исходных параметров и единиц их измерения.

Схемы и рисунки, поясняющие ответ, могут быть выполнены в карандаше, либо с использованием ПК или в виде ксерокопии и вклеены в работу. Приведенные схемы и рисунки необходимо пояснить в соответствии с заданием. Графики необходимо строить с соблюдением масштаба и указанием физических величин, откладываемых по осям (при необходимости их численных значений). Пунктирными линиями необходимо иллюстрировать процесс построения графика.

2.5 В конце работы приведите список использованной литературы, также укажите сайты сети Internet, материалы которых использовались при выполнении работы.

Выполненная контрольная работа заверяется личной подписью студента с указанием даты выполнения.

2.6 Если контрольная работа не зачтена и возвращается на доработку, необходимо выполнить работу над ошибками и сдать ее на повторную проверку в деканат.

Если контрольная работа зачтена с замечаниями, студент обязан к экзамену устранить все отмеченные преподавателем недостатки. Работа над ошибками выполняется в той же тетради.

Следует иметь в виду, что к сдаче экзамена по дисциплине студент допускается только при наличии зачтенной домашней контрольной работы и выполненной работы над ошибками.

### 3 ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Перед выполнением индивидуального задания рекомендуется изучить соответствующий теоретический материал.

При выполнении практических заданий необходимо привести вывод формул, используемых при обработке результатов измерений и пояснить порядок решения задачи. Недопустимо представлять решения без пояснительного текста в виде набора формул и вычислительных операций.

Промежуточные результаты расчетов также должны быть представлены в работе с обязательным указанием единиц измерения физических величин.

В случае выполнения ряда однотипных расчетов результаты промежуточных вычислений и конечные результаты сводятся в таблицу.

С целью исключения возможных ошибок вычислений, исходные данные желательно подставлять в формулу в основных единицах физической величины, предусмотренной международной системой единиц СИ (напряжение - в вольтах, ток - в амперах, сопротивление в Омах и т.п.). То есть, если в условии напряжение задано в милливольтках, например  $U=12\text{мВ}$ , в расчетную формулу его численное значение должно быть подставлено как  $U=12\times 10^{-3}\text{В}$ .

Для уменьшения погрешности вычислений промежуточные расчеты выполняются с использованием такого числа значащих цифр, которое необходимо для обеспечения требуемой точности результатов. При выполнении данной контрольной работы **ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ВЫПОЛНЕНЫ С ТОЧНОСТЬЮ 0,000001.**

Конечные результаты измерений должны быть сформулированы согласно требованиям МИ 1317-86.

Результат должен быть представлен:

- в удобном для прочтения виде;
- с учетом использования основных, кратных или дольных величин единиц измерений в каждой измерительной задаче;
- с точностью 0,01 с соблюдением правил округления.

#### 4 ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

В соответствии с требованиями инструкции МИ 1317-86 «Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроля их параметров» результат измерения должен содержать:

- наиболее достоверное значение измеренной величины с указанием единиц измерения;
- характеристику допустимой погрешности (максимально допустимое значение погрешности и условия, при которых данная погрешность действительна).

Способы представления характеристики погрешности.

*С указанием абсолютной погрешности:*

$A = (A_{\text{изм}} \pm \Delta A)$  ед-цы изм, с заданной вероятностью, при заданных условиях.

Например, результат измерения

$U = (30,0 \pm 0,5) \text{ В}$  с  $p=99,7\%$ , при н.у.

читается следующим образом:

«Наиболее достоверное значение измеренного напряжения составляет 30,0 В; при нормальных условиях, с вероятностью 99,7% абсолютная погрешность не превысит  $\pm 0,5 \text{ В}$ ».

*С указанием относительной погрешности:*

$A = A_{\text{изм}}$ , ед-цы изм  $\pm \delta A\%$ , с заданной вероятностью, при заданных условиях.

Например,

$U = 30,0 \text{ В} \pm 0,3\%$  с  $p=99,7\%$  при н.у.

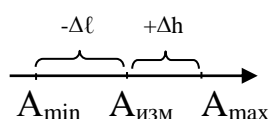
Результат измерения читается аналогично предыдущему варианту.

*С указанием доверительного интервала:*

$A = (A_{\text{min}} \div A_{\text{max}})$  ед-цы изм, с заданной вероятностью, при заданных условиях.

Результат измерения читается следующим образом:

«При заданных условиях, с заданной вероятностью, измеряемая величина не выйдет за пределы интервала  $A_{\text{min}} \div A_{\text{max}}$ ».



Или

$A = A_{\text{изм}}$ , ед-цы изм;  $-\Delta \ell$ ;  $+\Delta h$ ; с заданной вероятностью, при заданных условиях.

Результат читается:

«Наиболее достоверное значение измеряемой величины составляет Аизм; при заданных условиях, с заданной вероятностью погрешность измерения не превысит значения  $-\Delta\ell$  и  $+\Delta h$ ».

Количественная характеристика погрешности должна содержать *не более 2-х значащих цифр*.

*Количество знаков после запятой у основного значения и характеристики погрешности должно быть одинаковым.*

Например,

$F = (10,000 \pm 0,057)$  кГц с  $p=80\%$  при н.у.

# 5 ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

## Задание 1

### Оценка случайной погрешности прямых измерений

#### 1 Цель практической работы:

1.1 Закрепление теоретических знаний по разделу курса МС и УК «Погрешности измерений».

1.2 Приобретение практических навыков расчета случайных погрешностей прямых измерений.

#### 2 Контрольные вопросы.

2.1 Определение погрешности измерений.

2.2 Классификация погрешностей.

2.3 Определение случайной погрешности.

2.4 Причины возникновения случайных погрешностей.

2.5 Определение нормального закона распределения погрешностей.

2.6 Порядок обработки результатов измерений.

2.7 Понятие среднеквадратичного отклонения СКО результатов наблюдений.

2.8 Понятие доверительной вероятности и доверительного интервала.

#### 3 Контрольное задание.

3.1 Задача. Измерение тока в нормальных условиях представлены рядом наблюдений: 10,07; 10,08; 10,10; 10,12; 10,15; 10,16; 10,17; 10,20; 10,40 мА. Результат наблюдения 10,40 мА резко отличается от остальных. Необходимо проверить можно ли его отбросить как результат, имеющий грубую погрешность.

3.2 Задача. С целью определения места повреждения коаксиального кабеля использовался импульсный метод измерения. В результате измерений получено  $n$  значений расстояния до места повреждения  $L_i$ . Считая, что случайная погрешность имеет нормальный закон распределения, определить:

– наиболее достоверное значение расстояния до места повреждения кабеля  $\bar{L}$ ;

– среднеквадратическую погрешность однократных измерений (результатов наблюдений)  $\sigma$ ;

– максимально допустимую погрешность измерения  $\Delta_{\max}$ ;

– среднеквадратическую погрешность результата измерения  $\tilde{\sigma}_L$ ;

– доверительный интервал результата измерения и расстояние до места повреждения при заданной доверительной вероятности  $p_n(t)$ ;

– результат измерения записать в соответствии с требованиями МИ 1317-2004.

#### 4 Методические указания к решению задачи

Вариант контрольного задания определяется в соответствии с таблицами 1.1, 1.2 и 1.3.

Номер варианта задания определяется последними цифрами номера студенческого билета или номера по списку -  $m$  и  $n$ .

Буквой  $i$  обозначены номера измерений  $L_i$ . Таким образом, количество единичных измерений и их числовые значения определяются номером варианта, выбор результатов наблюдений производится из таблицы 1.3.

Результаты промежуточных расчетов заносятся в таблицу 1.4.

Таблица 1.1 – Исходные данные для задачи 3.2

$m$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$i$	7-13	23-28	15-20	12-17	28-33	8-14	2-8	1-09	25-31	34-40
$L_{д,м}$	275,4	273,5	271,9	270,3	279,2	276,3	279,9	270,5	271,6	274,6

Таблица 1.2 – Исходные данные для задачи 3.2

$n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$i$	41-47	50-54	40-44	53-58	56-60	39-44	46-52	49-53	45-50	52-56
$p$	0,92	0,86	0,98	0,99	0,91	0,87	0,95	0,92	0,89	0,97

Таблица 1.3 – Исходные данные для задачи 3.2

$i$	$L_{i,м}$	$i$	$L_{i,м}$	$i$	$L_{i,м}$	$i$	$L_{i,м}$	$i$	$L_{i,м}$
<b>1</b>	271,2	<b>13</b>	272,3	<b>25</b>	281,1	<b>37</b>	278,5	<b>49</b>	272,7
<b>2</b>	272,1	<b>14</b>	273,1	<b>26</b>	283,2	<b>38</b>	280,8	<b>50</b>	276,2
<b>3</b>	271,2	<b>15</b>	274,9	<b>27</b>	279,1	<b>39</b>	281,2	<b>51</b>	272,9
<b>4</b>	270,9	<b>16</b>	272,7	<b>28</b>	275,6	<b>40</b>	279,6	<b>52</b>	275,4
<b>5</b>	274,8	<b>17</b>	273,7	<b>29</b>	273,2	<b>41</b>	273,8	<b>53</b>	274,2
<b>6</b>	273,5	<b>18</b>	271,2	<b>30</b>	277,9	<b>42</b>	274,9	<b>54</b>	274,7
<b>7</b>	273,6	<b>19</b>	275,8	<b>31</b>	280,2	<b>43</b>	271,5	<b>55</b>	275,7
<b>8</b>	274,3	<b>20</b>	273,5	<b>32</b>	279,1	<b>44</b>	272,8	<b>56</b>	274,1
<b>9</b>	273,0	<b>21</b>	272,5	<b>33</b>	282,5	<b>45</b>	274,3	<b>57</b>	273,6
<b>10</b>	271,5	<b>22</b>	275,7	<b>34</b>	279,3	<b>46</b>	275,6	<b>58</b>	280,9
<b>11</b>	271,2	<b>23</b>	275,8	<b>35</b>	281,2	<b>47</b>	274,6	<b>59</b>	274,8
<b>12</b>	271,7	<b>24</b>	279,2	<b>36</b>	279,4	<b>48</b>	276,9	<b>60</b>	274,7

Таблица 1.4 – Результаты промежуточных расчетов

№ п.п	№ изм. i	Значения $L_i$ , м	$\Delta i = L_i - L$ , м	$\Delta i^2$
1			с точностью 0,000001	с точностью 0,000001
2				
3				
·				
·				
n				
n=		$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}$	$\sum_{i=1}^n \Delta i =$	$\sum_{i=1}^n \Delta i^2 =$

С целью избежания накопления погрешности вычисления промежуточные расчеты выполняются с использованием большого числа значащих цифр (с точностью 0,000001). Конечный результат обработки дается с точностью 0,01.

Максимально допустимая погрешность рассчитывается по правилу  $3\sigma$ .

В связи с тем, что число однократных измерений  $n$  в данном задании относительно невелико, доверительный интервал результата измерения должен быть рассчитан в соответствии с интегральным законом распределения Стьюдента. Коэффициенты распределения Стьюдента  $t_n$  для различных значений доверительной вероятности  $p_n(t)$  и  $n$  приведены в таблице 1.5.

Таблицы 1.5 – Значения коэффициентов Стьюдента

n	$P_n(t)$									
	0,88	0,9	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
5	1,972	2,132	2,333	2,456	2,601	2,776	2,999	3,298	3,747	4,604
6	1,873	2,015	2,191	2,298	2,422	2,571	2,757	3,003	3,365	4,032
7	1,812	1,943	2,105	2,202	2,314	2,447	2,613	2,829	3,143	3,707
8	1,771	1,895	2,047	2,137	2,241	2,365	2,517	2,715	2,998	3,499
9	1,741	1,860	2,005	2,091	2,190	2,306	2,449	2,634	2,896	3,555
10	1,718	1,833	1,973	2,056	2,151	2,262	2,399	2,574	2,821	3,250
11	1,700	1,812	1,949	2,029	2,121	2,228	2,360	2,528	2,764	3,169
12	1,686	1,796	1,929	2,007	2,097	2,201	2,329	2,491	2,718	3,106
13	1,673	1,782	1,913	1,989	2,077	2,179	2,303	2,461	2,681	3,055
14	1,665	1,771	1,899	1,975	2,061	2,160	2,282	2,436	2,650	3,012
15	1,656	1,761	1,888	1,962	2,047	2,145	2,264	2,415	2,624	2,977
16	1,649	1,753	1,878	1,951	2,034	2,131	2,249	2,398	2,602	2,947

## Задание № 2

### Оценка систематической погрешности измерений

#### 1 Цель практической работы.

1.1 Закрепление теоретических знаний по разделу «Погрешности измерений».

1.2 Приобретение практических навыков расчета систематической погрешности прямых измерений.

#### 2 Контрольные вопросы.

2.1 Классификация погрешностей.

2.2 Определение систематической погрешности.

2.3 Причины появления систематических погрешностей.

2.4 Понятие класса точности прибора, форма представления класса точности.

2.5 Погрешность измерения, вызванная подключением прибора к объекту измерения, способы ее уменьшения.

2.6 Порядок расчета класса точности аналогового прибора по результатам измерений.

2.7 Порядок расчета погрешности измерений по классу точности аналогового прибора.

#### 3 Контрольное задание.

3.1 Задача. Последовательно с источником  $E=10\text{В}$  с внутренним сопротивлением  $2\ \text{Ома}$  включены сопротивление  $100\ \text{Ом}$  и амперметр, сопротивление которого  $0,5\ \text{Ома}$ . Определить показания амперметра, рассчитать относительную погрешность, вызванную неидеальным сопротивлением амперметра.

3.2 Задача. Вольтметром в нормальных условиях измерено напряжение источника напряжения. Внутреннее сопротивление источника напряжения равно  $1,5\ \text{Ома}$ . Показание вольтметра по шкале  $1,5\text{В}$  составило  $1,025\text{В}$ , входное сопротивление вольтметра  $1500\ \text{Ом}$ . Определить погрешность измерения напряжения, вызванную неидеальностью вольтметра, а также класс точности вольтметра.

3.3 Задача. Методом сравнения определены показания образцового вольтметра  $2\text{В}$  и поверяемого вольтметра  $1,95\text{В}$ . Определить абсолютную погрешность измерения и поправку для поверяемого прибора.

3.4 Задача. Основная приведенная погрешность амперметра, рассчитанного на ток  $5\ \text{А}$ , равна  $0,5\%$ . Оценить абсолютную и относительную погрешность измерения тока  $1\ \text{А}$ . Объяснить, почему не обеспечивается измерение с относительной погрешностью  $0,5\%$ .

3.5 Задача. Определить относительную погрешность измерения напряжения  $30\text{В}$  и  $90\text{В}$  в нормальных условиях в диапазоне с конечным значением шкалы  $100\text{В}$ , если класс точности прибора равен  $0,5\%$ .

3.6 Задача. При определении частоты использовано измерение периода. Оценить абсолютную погрешность измерения частоты, если  $T = (25 \pm 1)$  мкс при доверительной вероятности 0,997 и нормальных условиях.

3.7 Задача. Определить значение потребленной электрической энергии в цепи и определить абсолютную и относительную погрешности измерения, если известны результаты прямых измерений:

$$I = (10,230 \pm 0,015) \text{А},$$

$$R = (11,68 \pm 0,01) \text{Ом},$$

$$t = (405,2 \pm 0,1) \text{с}.$$

Границы погрешности указаны с доверительной вероятностью 0,95 для нормальных условий.

### Задание 3

#### Оценка погрешности косвенных измерений

##### 1 Цель практической работы.

1.1 Закрепление теоретических знаний по разделу «Погрешности измерений».

1.2 Приобретение практических навыков расчета погрешности косвенных измерений.

##### 2 Контрольные вопросы.

2.1 Определение погрешности измерения.

2.2 Классификация методов измерений.

2.3 Понятие косвенных измерений.

2.4 Причины возникновения погрешности при косвенных измерениях.

2.5 Порядок расчета погрешности косвенных измерений.

2.6 Порядок определения частных погрешностей косвенных измерений.

##### 3 Контрольное задание.

###### 3.1 Задача.

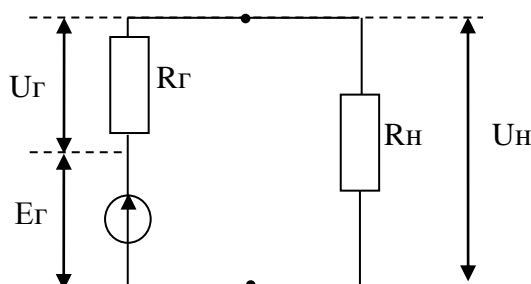


Рисунок 3.1 – Схема измерения

Проводилось косвенное измерение напряжения и мощности, выделяемых на нагрузке генератора низких частот. Одновременно оценивались значения полной мощности, развиваемой генератором и потери мощности на его внутреннем сопротивлении. В зависимости от индивидуального задания рассчитать одну из указанных мощностей ( $P_H$ ,  $P_G$  или  $P_\Sigma$ ) и падение напряжения ( $U_H$  или  $U_G$ ). Оценить абсолютную и относительную погрешности измерения заданных мощности и напряжения если известны результаты прямых измерений  $E_G$ ,  $R_G$  и  $R_H$  и их относительные погрешности.

Результаты измерений даны в таблицах 3.1. и 3.2.

Таблица 3.1 – Исходные данные для задачи 3.1

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_G$ , В	15	10,4	7,0	10,7	9,4	15,5	12,3	5,7	12,9	6,5
$R_G$ , Ом	600	105	80	165	75	240	150	600	140	100
$\pm\delta_{RH}$ , %	2,7	2,2	4,8	3,3	5,0	2,3	4,1	5,2	1,8	5,1

Таблица 3.2 – Исходные данные для задачи 3.2

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R <sub>н</sub> , Ом	1100	280	670	250	820	410	350	200	830	500
±δ <sub>ЕГ</sub> , %	2,1	5,5	3,4	2,5	5,1	3,7	1,9	4,6	2,3	1,8
±δ <sub>РГ</sub> , %	5,4	3,2	5,2	3,8	4,5	2,4	2,1	5,3	2,8	5,1
P <sub>х</sub> , мВт	P <sub>Σ</sub>	P <sub>Σ</sub>	Pr	P <sub>н</sub>	Pr	P <sub>Σ</sub>	P <sub>н</sub>	P <sub>Σ</sub>	Pr	P <sub>Σ</sub>
U <sub>х</sub> , В	Ur	Ur	U <sub>н</sub>	Ur	U <sub>н</sub>	Ur	U <sub>н</sub>	Ur	U <sub>н</sub>	Ur

#### 4 Методические указания к решению задачи

В данной задаче измерение мощности и напряжения являются косвенными. Необходимо вывести формулу расчета относительной погрешности измерения заданных параметров и максимально упростить ее.

$$\delta F\% = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial X} \cdot \frac{\Delta X}{F}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Y} \cdot \frac{\Delta Y}{F}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Z} \cdot \frac{\Delta Z}{F}\right)^2} \cdot 100\%,$$

где  $\frac{\partial F}{\partial X}, \frac{\partial F}{\partial Y}, \frac{\partial F}{\partial Z}$  - частные производные функции F (X, Y, Z);

ΔX, ΔY, ΔZ – абсолютные погрешности прямых измерений, определяются через заданные относительные погрешности ΔX = δX% · X/100%, ΔY = δY% · Y/100%, ΔZ = δZ% · Z/100%. Промежуточные расчеты частных производных и абсолютных погрешностей не выполняются, чтобы не увеличивать погрешность вычисления.

Абсолютная погрешность измерения мощности и напряжения определяется из выражения:

$$\Delta P = \delta P\% \cdot P/100\%,$$

$$\Delta U = \delta U\% \cdot U/100\%.$$

Промежуточные расчеты выполняются с точностью 0,000001, конечный результат дается с точностью 0,01. Если результаты расчетов, выраженные в основных единицах измерения, получаются меньше единицы, то напряжение должно быть выражено в милливольтгах, мощность – в милливаттах.

Результат измерения записать в соответствии с требованиями МИ 1317-2004.

## Задание 4

### Измерение напряжений негармонических сигналов аналоговыми вольтметрами

#### 1 Цель практической работы

1.1 Закрепление теоретических знаний по разделу «Аналоговые электронные вольтметры».

1.2 Приобретение практических навыков расчета метрологических параметров аналоговых вольтметров.

1.3 Приобретение практических навыков расчета параметров электрических сигналов несинусоидальной формы и анализа показаний аналоговых вольтметров.

#### 2 Контрольные вопросы

2.1 Определение основных параметров напряжения электрических периодических сигналов.

2.2 Формула расчета среднего, среднеквадратичного, средневыпрямленного напряжения.

2.3 Магнитоэлектрический прибор МЭП – назначение, принцип действия, основные характеристики.

2.4 Обобщенная функциональная схема аналоговых вольтметров, назначение элементов схемы.

2.5 Типы детекторных вольтметров – назначение, правило градуировки.

2.6 Особенности измерения напряжения прибором с открытым и закрытым входом.

2.7 Порядок расчета погрешности показаний вольтметра и измерения пикового, средневыпрямленного, действующего напряжения.

#### 3 Контрольное задание

3.1 Рассчитать показания квадратичного вольтметра с открытым и закрытым входом при подаче напряжения  $U(t) = 30 + 10 \sin 10t$ , частота электрического сигнала  $f = 2$  кГц.

3.2 Вольтметр с пиковым преобразователем, с закрытым входом показал 1,8В. Определить амплитудное, среднеквадратичное и средневыпрямленное значение напряжения для сигнала, имеющего  $K_a = 1,73$  и  $K_\phi = 1,16$ . Рассчитать абсолютную погрешность показаний прибора и измерения амплитудного значения, если основная относительная погрешность прибора составляет 2,5%.

3.3 Определить  $K_a$  сигнала, если линейный вольтметр показал 4,44В, а измерительный сигнал имеет пиковое значение ровно 12В,  $K_\phi = 1,5$ .

3.4 Определить показания квадратичного вольтметра, если при измерении того же сигнала пиковый вольтметр показал 32В,  $K_a = 2$ ,  $K_\phi = 1,5$ .

3.5 Задача. На выходе исследуемого устройства имеет место периодическое напряжение, форма которого показана на рисунке 4.1.

Требуется определить:

- среднее  $U_o$ , средневыпрямленное  $U_{ср.в.}$  и среднеквадратическое  $U$  значения выходного напряжения заданной формы;
- коэффициенты амплитуды  $K_a$ , формы  $K_\phi$  и усреднения  $K_y$  выходного напряжения;
- напряжения, которые должны показать пиковый вольтметр с закрытым входом, а также вольтметры средневыпрямленного и среднеквадратического значения с открытым входом;
- оценить относительную погрешность измерения всех вычисленных напряжений, если используемые измерительные приборы имеют класс точности, заданный в виде допустимой приведенной погрешности, и предельное значение шкалы  $U_{ном}$ .

Таблица 4.1 – Исходные данные для решения задачи 3.5

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рис.1	б	в	д	ж	г	а	к	и	з	е
T, мкс	12	75	30	50	10	60	100	18	90	80
$\tau$ , мкс	6	30	15	25	5	15	75	6	60	40
$K_{\checkmark}$	0,5	0,2	2	0,6	3	2,5	1	1,5	4	5

Таблица 4.2 – Исходные данные для решения задачи 3.5

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_{ном}, В$	1	3	10	30	5	10	15	3	30	1
$U_m, В$	0,75	1,5	6	21	3	8	12	2	27	0,5

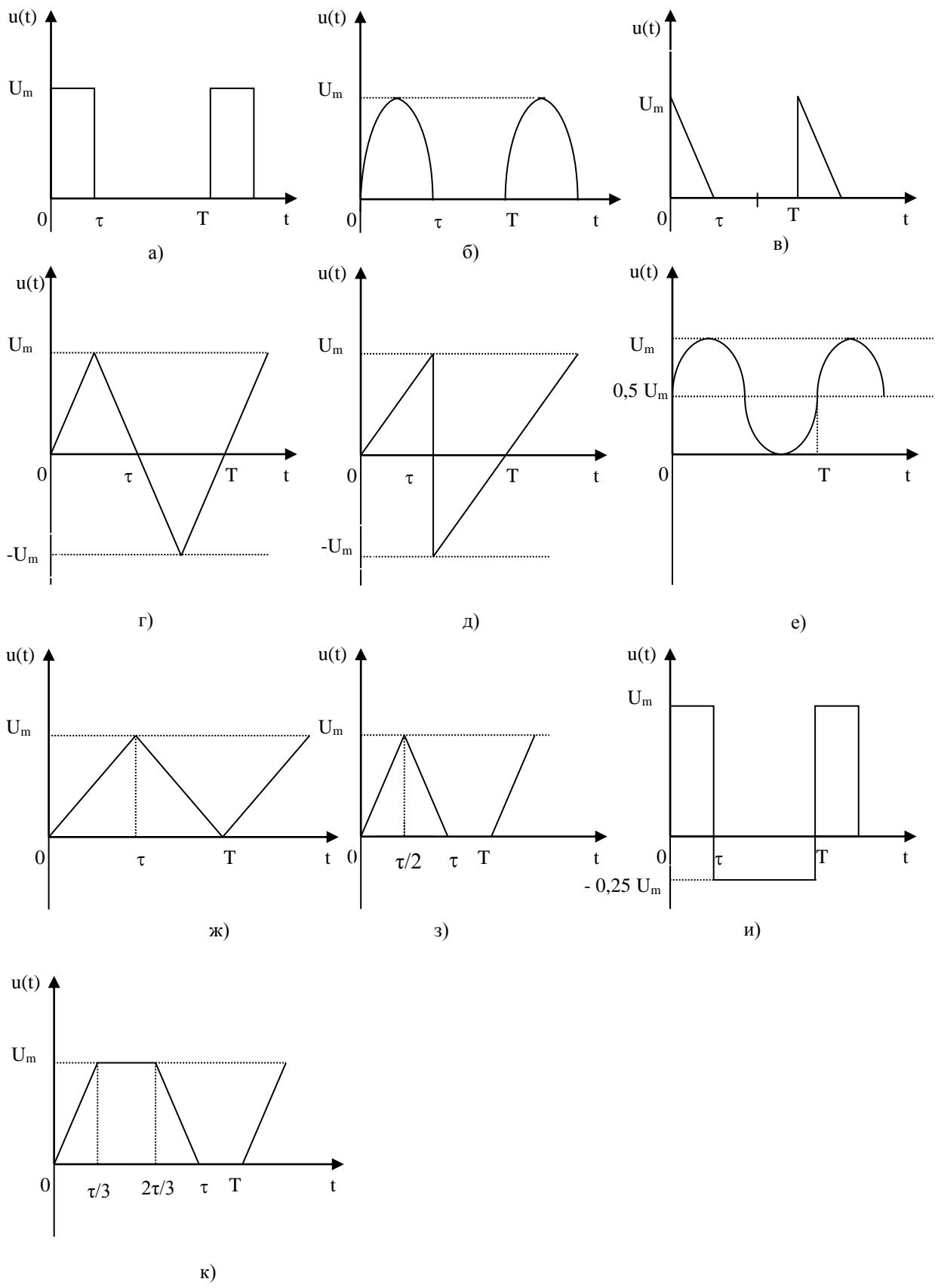


Рисунок 4.1 – Форма исследуемого напряжения

#### 4 Методические указания к решению задачи

Решение задачи необходимо начать с математического описания сигнала. Например, напряжение  $u(t)$ , представляющее собой периодическую последовательность однополярных прямоугольных импульсов (рисунок 2а) описывается следующим образом:

$$u(t) = \begin{cases} U_m & \text{при } 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{при } \tau \leq t \leq T \end{cases}$$

Рассчитать параметры напряжения  $U_0$ ,  $U_{\text{ср}}$ ,  $U$ .

Для самоконтроля при решении задачи необходимо иметь в виду, что  $1 < K_{\phi} < K_a < K_y$ .

Показания вольтметров рассчитываются с учетом открытого или закрытого входа ( $U_{\text{ПВз}}$ ,  $U_{\text{ЛВо}}$ ,  $U_{\text{КВо}}$ ) и коэффициентов градуировки.

Погрешность показания вольтметров и погрешность измерения напряжения определяются по классу точности прибора.

Показания вольтметров записать в соответствии с требованиями МИ 1217-2004.

## Задание 5

### Расчет погрешности измерения временных параметров электрических сигналов

#### 1 Цель практической работы

1.1 Закрепление теоретических знаний по разделу «Измерение временных параметров электрических сигналов».

1.2 Приобретение практических навыков расчета погрешности измерения временных параметров.

#### 2 Контрольные вопросы

2.1 Причины систематической погрешности цифровых приборов.

2.2 Порядок расчета погрешности измерения  $T$  и  $f$  цифровым частотомером.

2.3 Причины систематической погрешности измерения временных интервалов электронным осциллографом.

2.4 Порядок расчета погрешности измерения периода, частоты и других временных параметров электрического сигнала электронным осциллографом.

#### 3 Контрольное задание

3.1 Задача. Определить число импульсов, поступивших на вход электронного счетчика в процессе измерения периода сигнала частотой 100 Гц, если частота следования импульсов кварцевого генератора равна 10 МГц, коэффициент деления частоты равен 100.

3.2 Задача. Оценить погрешность дискретности и число импульсов, поступивших в счетчик цифрового хронометра, если измеряемая частота равна 500 Гц, частота кварцевого генератора равна 100 МГц, коэффициент деления частоты равен 10.

3.3 Задача. Показания цифрового частотомера имеет следующий вид: 0045,861 кГц. Определить абсолютную и относительную погрешности дискретности измерения частоты.

3.4 Задача. Цифровым частотомером измерялось значение двух заданных образцовых частот. Определить:

– абсолютную систематическую погрешность измерения образцовой частоты  $\Delta_0$ , обусловленную погрешностью кварцевого генератора  $\delta_0$ ;

– абсолютную и относительную погрешности дискретности для четырех различных интервалов времени счета  $t_{сч} = 10\text{с}; 1,0\text{с}; 10^{-1}\text{с}$  и  $10^{-3}\text{с}$ ;

– минимальное значение частот  $f_{\min}$ , погрешность измерения которых при заданных значениях  $t_{сч}$  не превысят  $\delta_n\%$ .

Исходные данные для решения задачи приведены в таблицах 5.1. и 5.2.,  $m$ ,  $n$  – номер варианта.

Таблица 5.1 – Исходные данные для решения задачи 3.4

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\delta_0$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{-8}$	$10^{-6}$
$f_{\text{обр1}}$ , кГц	5	16	20	10	4	12	12	18	15	6

Таблица 5.2 – Исходные данные для решения задачи 3.4

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f_{\text{обр2}}$ , МГц	1	5	16	0,5	8	2	20	4	25	10
$\delta_n$ , %	1,2	2,0	3,5	5,0	1,0	2,5	4,0	1,6	4,5	3,0

Результаты расчетов следует представить в виде таблиц, выполненных по форме таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты расчетов по задаче 3.4

$f_{\text{обр}} =$

$t_{\text{сч}}$ , с	$\Delta_0$ , Гц	$\Delta_d$ , Гц	$\delta_d$ , %	$f_{\text{min}}$ , Гц
10				
1,0				
$10^{-1}$				
$10^{-3}$				

3.5 Задача. На вход осциллографа в режиме линейной развертки подается синусоидальное колебание частотой 50 кГц, длительность прямого хода развертки составляет 17,5 мкс, длительность обратного хода 2,5 мкс. Изобразить вид осциллограммы.

3.6 Задача. Длительность фронта прямоугольного импульса, определяемая по осциллограмме, составляет 1 мкс. Определить действительную длительность фронта импульса, если время нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения составляет 35 нс.

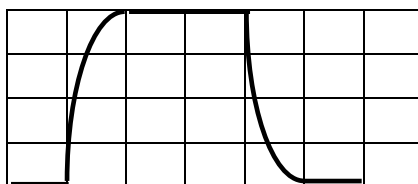


Рисунок 5.1 – Изображение исследуемого импульса

3.7 Задача. По данному изображению импульсного сигнала (рис.3) определить период, частоту и скважность исследуемого сигнала, если коэффициент развертки 5 мкс/дел. Определить относительную и абсолютную погрешности измерения периода, частоты и скважности, если погрешность коэффициента развертки составляет 4%, толщина луча 1 мм.

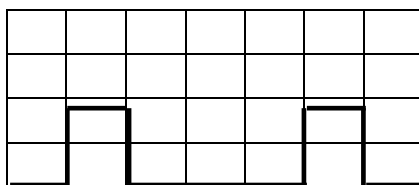


Рисунок 5.2 – Изображение исследуемого сигнала

3.8 Задача. Определить частоту исследуемого сигнала, поданного на вход X электронного осциллографа, если при частоте образцового генератора равной 4 кГц получено изображение  $\infty$ . Относительная погрешность установки частоты образцового генератора составляет  $(2+30/f)\%$ .

### 7 Методические указания к решению задач

Для решения задач 3.1 – 3.4 необходимо привести упрощенную схему цифрового частотомера в режиме заданного параметра. Составьте формулы, определяющие соотношение временных параметров измеряемого сигнала и образцового, вырабатываемого базой времени (задающий генератор и делитель частоты). Исходя из данных формул, решается задача.

Для решения задач 3.5 – 3.7 повторите порядок получения изображения на экране электронного осциллографа в режиме линейной развертки; причины погрешностей, вызванные неидеальным изображением и неточностью масштабов, а также неидеальной переходной характеристикой ЭО.

Для решения задачи 3.8 повторите порядок получения изображения на экране электронного осциллографа в режиме синусоидальной развертки, причины погрешности измерения методом Лиссжу.

Показания вольтметров записать в соответствии с требованиями МИ 1217-2004.

## 6 Примерные вопросы к экзамену

1. Определение, цели и задачи стандартизации. Объекты стандартизации в отрасли связи. Связь стандартизации и метрологии.
2. Принципы стандартизации. Основные нормативные документы. Системы стандартов.
3. Организационная структура отраслевой системы стандартизации. Объекты стандартизации в отрасли связи.
4. Задачи метрологии. Роль метрологии и стандартизации в управлении качеством продукции. Структура ведомственной метрологической службы.
5. Классификация измерений по назначению, измеряемым параметром, методам измерений.
6. Определение и классификация погрешностей по способу выражения, причине возникновения, характеру проявления, условиям измерений.
7. Инструментальная погрешность – причины возникновения, способы оценки, нормирование погрешности. Способы задания класса точности прибора.
8. Случайные погрешности – причины возникновения, способы оценки.
9. Погрешность косвенных измерений. Понятие, методы оценки.
10. Порядок обработки прямых измерений. Стандартная форма представления результата измерений.
11. Параметры переменного напряжения, их определения ( $U_m$ ,  $U_{cp}$ ,  $U_{срв}$ ,  $U$ ,  $K_a$ ,  $K_f$ ,  $K_y$ ).
12. Назначение и классификация электронных вольтметров. Аналоговые вольтметры, назначение элементов схемы, основные органы управления, правила эксплуатации.
13. Линейные вольтметры. Назначение, правила эксплуатации, порядок обработки результата измерений.
14. Квадратичные вольтметры. Назначение, правила эксплуатации, порядок обработки результата измерений.
15. Пиковые вольтметры. Назначение, правила эксплуатации, порядок обработки результата измерений.
16. Цифровой вольтметр с времяимпульсным преобразованием – назначение элементов схемы, принцип работы, правила эксплуатации, причины появления погрешности измерения и порядок ее расчета.
17. Назначение широкополосного ИУ. Назначение элементов схемы, основные органы управления, правила эксплуатации.
18. Назначение и классификация измерительных генераторов. Требования, предъявляемые к генераторам синусоидальных колебаний, основные метрологические характеристики.
19. Принцип построения ИГ основных колебаний, основные органы управления, правила эксплуатации. Достоинства и недостатки ИГ основных колебаний.
20. Принцип построения ИГ на биениях, основные органы управления, правила эксплуатации. Достоинства и недостатки ИГ на биениях.

21. Назначение ЭО, основные метрологические характеристики. Назначение элементов функциональной схемы, основные органы управления, правила эксплуатации.

22. Измерение напряжения электрических сигналов ЭО в режиме линейной развертки. Причины возникновения погрешности, порядок обработки результата измерения. Способы уменьшения погрешности.

23. Измерение временных параметров сигналов ЭО в режиме линейной развертки. Причины возникновения погрешности измерения, порядок обработки результата измерения. Способы уменьшения погрешности.

24. Измерение частоты синусоидального сигнала методом Лиссажу (в режиме синусоидальной развертки). Причины возникновения погрешности измерения, порядок обработки результата измерения. Способы уменьшения погрешности.

25. Назначение цифрового частотомера. Измерение частоты сигнала цифровым частотомером. Причины возникновения погрешности, порядок обработки результата измерения. Способы уменьшения погрешности.

26. Назначение цифрового частотомера. Измерение периода сигнала цифровым частотомером. Причины возникновения погрешности, порядок обработки результата измерения. Способы уменьшения погрешности.

27. Понятие фазового сдвига. Осциллографические методы измерения фазового сдвига. Причины погрешности измерения, способы уменьшения погрешности. Достоинства и недостатки методов измерения.

28. Понятие фазового сдвига. Цифровой метод измерения фазового сдвига. Причины погрешности измерения, способы уменьшения погрешности. Достоинства и недостатки методов измерения.

29. Основные параметры 4х-полосников, режимы работы.

30. Измерение модуля входного сопротивления 4-хп. Оценка степени согласованности 4-хп с источником и нагрузкой рабочей цепи.

31. Определение рабочего затухания, расчетные формулы. Измерение Ар четырехполосника методом разности уровней.

32. Определение рабочего затухания, расчетные формулы. Измерение Ар четырехполосника методом сравнения.

33. Цели и принципы сертификации продукции и услуг. Виды сертификации. Порядок проведения сертификации.

34. Цели и принципы сертификации продукции и услуг. Виды сертификации. Объекты сертификации отрасли связь.

35. Цели и принципы сертификации продукции и услуг. Виды сертификации. Особенности сертификации измерительной техники в связи.

36. Задачи.

37. Расчет погрешности прямых измерений по классу точности.

38. Расчет погрешности косвенных измерений.

39. Расчет параметров переменного напряжения заданной формы -  $U_m$ ,  $U_{cp}$ ,  $U_{cpв}$ ,  $U$ ,  $K_a$ ,  $K_f$ ,  $K_y$ . Расчет показаний вольтметров при измерении переменного напряжения.

40. Расчет погрешности измерения параметров электрического сигнала ( $U$ ,  $T$ ,  $f$ , скважности) электронным осциллографом в режимах линейной и синусоидальной развертки.

41. Расчет погрешности измерения частоты и периода сигнала цифровым частотомером.

42. Выбор параметров измерительных приборов и расчет рабочего затухания четырехполюсника.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная:*

1) Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учеб. пособие для вузов / С. И. Боридько, Н. В. Дементьев, Б. Н. Тихонов, И. А. Ходжаев / Под общ. ред. Б. Н. Тихонова. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ibooks.ru/reading.php?productid=333367>

2) Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 3-е изд. Учеб. пособие для вузов / Димов Ю. В. Санкт-Петербург: Питер, 2010 г. , 464 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ibooks.ru/reading.php?productid=21607>

3) Метрология и радиоизмерения: Учебник для вузов / В. И. Нефедов, В. И. Хахин, В. К. Битюков и др./под ред. профессора В. И. Нефедова. - М.:Высш. шк., 2003.

### *Дополнительная:*

1) Н.Л.Котова. «Метрология, стандартизация и сертификация». Методические указания по подготовке и выполнению практических работ. УрТИСИ СибГУТИ. Екатеринбург, 2009.

2) Н.Л.Котова. «Метрология, стандартизация и сертификация». Методические указания по подготовке и выполнению лабораторных работ. УрТИСИ СибГУТИ. Екатеринбург, 2009.

3) Министерство связи РФ. Стандарт отрасли. Система стандартизации отрасли. Основные положения. ОСТ 45.92.-96. М., 1997 ЦНТИ «Информсвязь».

4) Министерство связи РФ. Стандарт отрасли. Метрологическая служба Министерства связи РФ. ОСТ 45.59.-96. М., 1997 ЦНТИ «Информсвязь».