

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Поволжский государственный университет  
телекоммуникация и информатики»

Одобрено методическим  
советом ПГУТИ  
2013 г.

**Кафедра ЛС и ИТС**

**Контрольные задания и методические указания к  
практическим занятиям по дисциплине  
"Метрология, стандартизация и сертификация"  
Часть 2**

Составитель: к.т.н. доцент Косова А.Л.

Самара  
2013

## Содержание

### Введение

5. Раздел №5. «Обработка результатов прямых однократных измерений».
  - 5.1 Основные положения
  - 5.2 Текст задания и условие задачи
  - 5.3 Примеры решения задач
6. Раздел №6. «Обработка результатов прямых многократных равноточных измерений».
  - 6.1 Основные положения
  - 6.2 Текст задания и условие задачи
  - 6.3 Примеры решения задач
- 7 Раздел №7. « Обработка результатов косвенных однократных измерений».
  - 7.1 Основные положения
  - 7.2 Текст задания и условие задачи
- 8 Раздел №8. «Определение параметров переменных напряжений и показаний вольтметров различных типов»
  - 8.1 Основные положения
  - 8.2 Текст задания и условие задачи
  - 8.3 Примеры решения задач
9. Раздел №9. «Осциллографические измерения параметров сигналов»
  - 9.1. Основные положения
  - 9.2 Измерение напряжения
  - 9.3 Измерение частоты
    - 9.3.1 Измерение частоты методом линейной калиброванной развертки
    - 9.3.2 Измерение частоты методом синусоидальной развертки
  - 9.4. Текст задания и условие задачи
  - 9.5. Примеры решения задач
10. Список рекомендуемой литературы

### ***ВВЕДЕНИЕ***

Данные контрольные задания посвящены изучению способов обработки результатов измерений и методов измерений основных параметров телекоммуникационных систем. Контрольные задания включают в себя базовый комплект задач и некоторые примеры их решения по основополагающим разделам курса: обеспечения единства измерений, элементам теории погрешностей; нормированию погрешностей средств измерений; определению параметров переменных напряжений и показаний вольтметров различных типов; осциллографическим измерениям параметров сигналов. Задания расположены в порядке возрастания сложно-

сти. В текстах задания приведены алгоритмы решения задач и основные положения курса, необходимые для выполнения заданий.

Задания размещены на сайте кафедры ЛС и ИТС (lsits@psati.ru)

Для более детального освоения рассматриваемых вопросов необходимо изучить литературу из рекомендуемого списка и конспект лекций по «Метрологии, стандартизации и сертификации».

Выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где M -предпоследняя цифра, L - последняя цифра.

## ***Раздел №5. «Обработка результатов прямых однократных измерений».***

### ***5.1. Основные положения***

Метрологическая оценка результата измерений сводится к получению результата измерения с учетом погрешности.

Погрешность результата прямого однократного измерения зависит от многих факторов, но в основном определяется погрешностью используемых средств измерений (СИ). В первом приближении погрешность результата прямого однократного

измерения можно принять равной погрешности, которой характеризуется используемое средство измерений в данной точке X.

Процедура простейшей метрологической оценки погрешности результата измерений по паспортным данным используемых СИ основывается на системе государственных стандартов, обеспечивающих единство измерений, в частности, ГОСТ 8.401 -80 ГСИ "Классы точности средств измерений

".

Абсолютную погрешность средств измерений  $\Delta X$  определяют разностью между показанием средства измерений  $X$  и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины  $X_0$  и выражают в единицах измеряемой величины

$$\Delta X = X - X_0 \quad (5.1)$$

Для рабочего средства измерений за действительное значение физической величины принимают показания образцового средства измерений, для образцового СИ – значение физической величины, полученное с помощью эталона. Абсолютная погрешность не может служить самостоятельно показателем точности измерений, поэтому для характеристики точности результатов измерения введено понятие относительной погрешности

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

где  $X_0$  - действительное значение измеряемой величины (в первом приближении - показание прибора)

Относительная погрешность в формуле (5.2) не всегда удобна для нормирования погрешности многопредельных СИ, поэтому специально для указания и нормирования погрешности СИ введена приведённая погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

где  $X_N$  - нормирующее значение измеряемой величины. В общем случае, для шкал, градуированных в единицах измеряемой величины,  $X_N = X_{max} - X_{min}$ , где  $X_{max}$  и  $X_{min}$  — максимальное и минимальное значения шкалы СИ соответственно.

Для аналоговых приборов с нулем в левой части шкалы  $X_N$  — предел шкалы СИ. Если шкала СИ имеет резко нелинейный характер (резко сужающиеся деления), то  $X_{max}$  и  $X_{min}$  измеряются в единицах измерения длины шкалы, т.е. в см, мм или в условных единицах.

Приведенная погрешность удобна тем, что для многих многопредельных СИ она имеет постоянное значение, как для всех точек каждого поддиапазона, так и для всех его поддиапазонов.

Для того чтобы оценить погрешность, которую внесет данное СИ в конечный результат, пользуются предельными значениями погрешности для данного типа СИ.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности  $\Delta$  может быть представлен одним из трех способов:

— постоянным для любых значений  $X$  числом, характеризующим аддитивную погрешность,

$$\Delta = \pm a; \quad (5.4)$$

— в виде двухчленной формулы, включающей аддитивную и мультипликативную погрешности,

$$\Delta = \pm (a + bx); \quad (5.5)$$

— в виде уравнения

$$\Delta = f(x) \quad (5.6)$$

При сложной зависимости (5.6.) допускается представлять погрешность в виде графика и таблицы. Пределы допускаемой относительной погрешности для случая (5.4.) в процентах выражают формулой

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% = \pm \frac{a}{X} \cdot 100\% = \pm q \quad (5.7)$$

для случая (5.5) – формулой

где  $X_k$  - предел измерений;

$$c = b + \frac{a}{X_k} \quad \text{- имеет смысл приведенной погрешности в конце диапазона измерений (при } X=X_k\text{);}$$

$d = a / X_k$  - имеет смысл приведенной погрешности в начале диапазона измерений (при  $X=0$ ), причем  $c > d$ . Предел допускаемой приведенной погрешности в процентах выражается формулой

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\% = \pm p$$

где  $p$  - отвлеченное положительное число.

Согласно ГОСТ 8.401-80 для указания нормированных пределов допускаемых погрешностей значения  $p$ ,  $q$ ,  $c$ ,  $d$  выражаются в процентах и выбираются из ряда чисел: (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6)  $10^n$ , где  $n=+1;0;-1;-2;-3$  и т.д.

С использованием чисел указанного ряда разработаны следующие условные обозначения классов точности СИ, наносимые на них.

1. Класс точности указывают просто одним из чисел приведенного выше предпочтительного ряда (например, 1,5). Это используют для СИ, у которых предел допускаемой приведенной погрешности постоянен (присутствует только аддитивная погрешность), как в (5.4),  $X_N$  в (5.3) выражена в единицах измеряемой величины. Таким способом обозначают классы точности вольтметров, амперметров, ваттметров и большинства других однопредельных и многопредельных приборов с равномерной шкалой или степенной (с показателем степени не более двух) шкалой.

2. Класс точности указывают числом из приведенного выше ряда, под которым ставится треугольная скобка, например  $\sqrt{1,5}$ . Такое обозначение применяют для приборов с резко не равномерной шкалой, для которых  $X_N$  выражают в единицах длины шкалы (мм, см, условных делениях). В этом случае при измерении, кроме значения измеряемой величины, обязательно должен быть записан отсчет  $X$  в единицах длины шкалы и предел  $X_N$  в этих же единицах, иначе нельзя будет

вычислить погрешность результата. Таким способом обозначают класс точности омметров.

3. Число, обозначающее класс точности, обводят кружком, например,  $\textcircled{1,5}$ . Такое обозначение применяют для СИ, у которых предел допускаемой относительной погрешности постоянен во всем диапазоне измерений (имеется только мультипликативная погрешность,  $d$  в (5.5) равна нулю) и его определяют по (5.7). Таким способом нормируют погрешности измерительных мостов, магазинов, масштабных преобразователей. При этом обычно указывают границы рабочего диапазона, для которых справедлив данный класс точности.

4. Класс точности обозначается двумя числами, записываемыми через косую черту, т. е. в виде условной дроби  $c/d$ , например,  $0,02 / 0,01$ . Такое обозначение применяют для СИ, у которых погрешность нормирована по двухчленной формуле (5.8). Таким способом указывают классы точности цифровых вольтметров, высокоточных потенциометров постоянного тока и других высокоточных приборов.

При оценивании результата измерений вычисляются:

- а) абсолютная погрешность, которая используется для округления результата и его правильной записи;
- б) относительная приведенная погрешности, применяемые для сравнения точности результата и прибора.

Процедура метрологической оценки прямого однократного измерения по паспортным данным используемого СИ приведена на рис 5.1.

Правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного экспериментального результата:

- погрешность результата измерения указывают двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной, если первая равна 3 и более;
- результат измерения округляют до того же десятичного разряда, которым оканчивается значение абсолютной погрешности;
- округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления - с одним - двумя лишними разрядами. Значащими цифрами называют все цифры, включая 0, если он стоит в середине или конце числа.

Метрологическая оценка результата прямого однократного измерения по паспортным данным используемого СИ ГОСТ 8.401-80 ГСИ  
«Классы точности средств измерения»

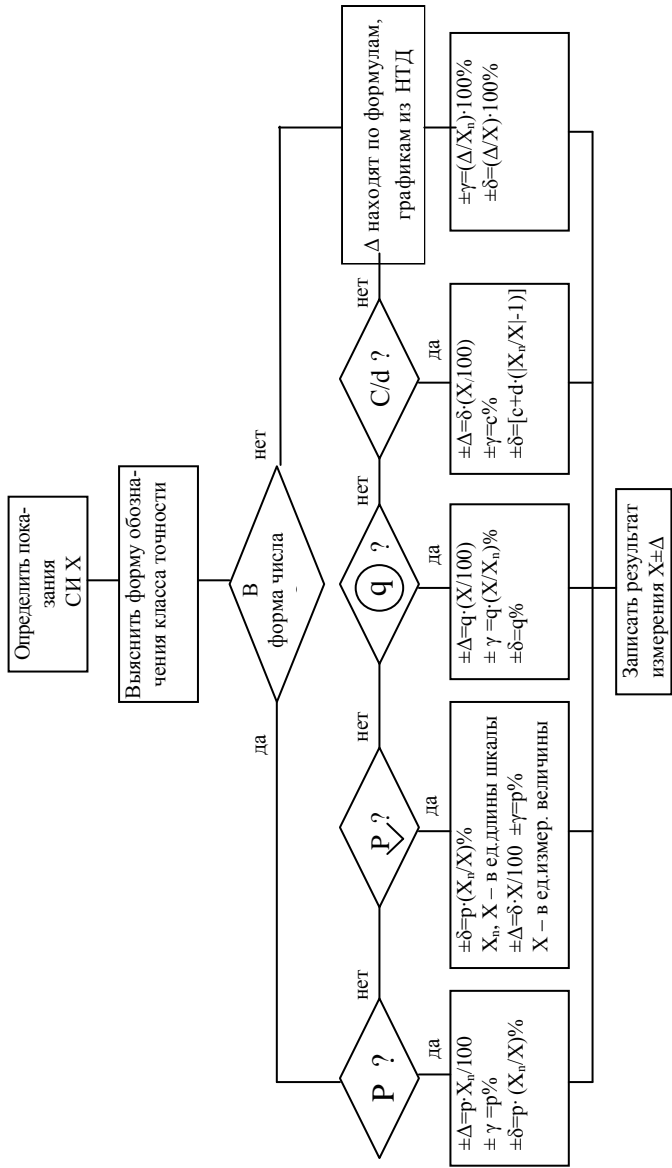


Рис. 5.1

## 5.2. Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 5 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где М- предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 5 необходимо решить **три** задачи:

5.2.1 - **две** задачи в соответствии с таблицами вариантов 5.1, 5.2, тексты задач приведены в таблице 5.3.

Примеры решения задач даны в разделе 5.3.

5.2.2 – **одну** задачу, приведенную в разделе 5.2.2.

### 5.2.1 Таблицы вариантов первых двух задач

Таблица 5.1

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	5.7	5.5	5.10	5.6	5.2	5.9	5.3	5.4	5.1	5.8

Таблица 5.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	5.12	5.14	5.19	5.17	5.15	5.11	5.18	5.16	5.20	5.13



Таблица 5.3

Задача	Исходные данные
5.1. Определить приведённую погрешность и класс точности аналогового вольтметра с пределом 30В.	Максимальная абсолютная погрешность равна 1.08 В.
5.2. Определить максимальные абсолютную и приведённую погрешности и класс точности аналогового вольтметра с пределом 3В.	Показания образцового вольтметра 1.0; 2.0; 3.0, поверяемого соответственно 0.95; 2.063; 3.03;
5.3. Определить абсолютную, относительную погрешности и класс точности аналогового вольтметра на пределе 10В.	Показания образцового вольтметра $U_0=7.5$ В, поверяемого вольтметра $U_X=7.65$ В.
5.4. Определить максимальную абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра с пределом 10В.	Класс точности 1.5, отсчет напряжения 5В.
5.5. Определить абсолютную, относительную и приведённую погрешность аналогового вольтметра на пределе 30В.	Показания образцового вольтметра $U_0=25$ В, поверяемого вольтметра $U_X=25.60$ В.
5.6. Определить максимальную абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра на пределе 10В.	Класс точности 2.5, отсчет напряжения 7.5 В.
5.7. Определить приведённую погрешность и класс точности аналогового вольтметра с пределом 10В.	Максимальная абсолютная погрешность равна 0.35В.
5.8. Определить абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра с пределом 30В.	Показания образцового вольтметра $U_0=28$ В, поверяемого вольтметра $U_X=28.9$ В.
5.9. Определить максимальную абсолютную погрешность и класс точности аналогового вольтметра на пределе 3В.	Показания образцового вольтметра 1,0;2,0;3,0; поверяемого вольтметра 0,993; 2,06; 3,069.

5.10. Определить абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра с пределом 10 В.	Показания образцового вольтметра $U_0=5$ В, поверяемого вольтметра $U_x=5.15$ В.
5.11. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока цифровым вольтметром с классом точности 0.1/0.05.	Отсчет на пределе «100V» равен 53.86В.
5.12. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения активного сопротивления цифровым омметром с классом точности 0.2/0.05.	Отсчет на пределе «1000кΩ» равен 573 кОм
5.13. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0.03/0.01.	Отсчет на пределе «1000V» равен 346.4В.
5.14. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока цифровым вольтметром с классом точности 0.3/0.1.	Отсчет на пределе «100V» равен 83.74 В
5.15. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения активного сопротивления цифровым вольтметром с классом точности 0.4/0.1.	Отсчет на пределе «1кΩ» равен 0.784кОм.
5.16. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0.05/0.02.	Отсчет на пределе «1V» равен 0.375 В.
5.17. Определить абсолютную погрешность и сделать запись резуль-	Отсчет на пределе «100V» равен 72.8 В.

тата измерения постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0.15/0.03.	
5.18. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения активного сопротивления цифровым вольтметром с классом точности 0.15/0.05.	Отсчет на пределе «1кΩ» равен 0.968 кОм.
5.19. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока цифровым вольтметром с классом точности 0.2/0.1.	Отсчет на пределе «100V» равен 65.78 В.
5.20. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения переменного тока цифровым вольтметром с классом точности 0.2/0.04.	Отсчет на пределе «1000V» равен 724.8 В.

### 5.2.2 Задача

Для трех приборов:

- аналогового вольтметра, данные которого даны в таблице 5.4;
- цифрового вольтметра (таблица 5.4);
- третьего прибора, выбираемого по таблице 5.5, определить пределы допустимой абсолютной, относительной приведенной погрешностей и сделать запись результатов измерений. Решение задачи излагается подробно, с соответствующими пояснениями. Исходные данные и результаты решения свести в таблицу 5.6.

Таблица 5.4

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Класс точности	0.05	4.0	1.5	4.0	0.5	1.5	2.0	1.0	2.5	0.1
Диапазон измерений	0-100 мВ	0-250 В	0-1 В	0-30 В	0-100 мВ	0-3 В	0-100 мВ	0-300 мВ	0-10 В	0-1 В
Показание	48.3 мВ	220 В	0.87 В	27.5 В	67.2 мВ	1.69 В	65.8 мВ	275.8 мВ	7.36 В	0.84 В
Класс точности	0.2/0.1	0.5/0.2	0.1/0.05	0.01/0.002	0.2/0.1	0.05/0.02	0.1/0.01	0.06/0.02	0.5/0.2	0.15/0.05
Диапазон измерений	0-2.9 В	0-100 мВ	0-10 В	0-10 В	0-100 мВ	0-10 В	0-1 В	0-1 В	0-10 В	0-350 В
Показание	1.85 В	57.8 В	7.93 В	8.34 В	87.35 мВ	7.3 В	0.67 В	617 мВ	7.93 В	327 В
Аналоговый вольтметр			Цифровой вольтметр							

Таблица 5.5

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наименование прибора	Ом-метр	Мост	Ом-метр	Мост	Ом-метр	Мульти-метр	Ом-метр	Магазин	Ом-метр	Потенциометр
Класс точности	1,5	0,05	2,5	5,0	1,0	1,0	0,5	0,01	4,0	0,02
Диапазон измерения (длина шкалы)	70 мм	-2 8 10÷10 Ом	100 мм	5 6 10÷10 Ом	20 см	4 5 10÷10 Ом	20 см	0,01÷100 Ом	50 дел.	0÷1,2 В
Отсчёт	5 мм	—	79 мм	—	89 мм	—	16 см	—	34 дел.	—
Показание	3 Ом	4,6 кОм	505 Ом	680 кОм	110 Ом	25 кОм	530 кОм	67,4 Ом	2 кОм	0,8764 В

Таблица 5.6  
Исходные данные и результаты решения вариантаМ, L

Наименование прибора	Класс точности	Диапазон измерений (длина шкалы)	Отсчёт	Показание	Пределы допускаемой погрешности			Результат измерения
					абсолютной	относительной	приведённой	
Аналоговый вольтметр								
Цифровой вольтметр								

## 5.3 Примеры решения задач

### Задача 1

1. Определить максимальную абсолютную, относительную, приведённую погрешности и сделать запись результата измерения напряжения аналоговым вольтметром с классом точности 1,5 с пределом 1 В для показания 0,87 В.

#### *Решение*

Для аналогового вольтметра с классом точности  $p = 1,5$  максимальная абсолютная погрешность равна (рис. 5.1):

$$\pm \Delta = p \cdot \frac{X_N}{100},$$

где  $p$  – класс точности;

$X_N$  – нормирующее значение измеряемой величины, равное пределу измерения

$$\pm \Delta = 1,5 \cdot \frac{1}{100} = 0,015 \text{ В.}$$

Приведённая погрешность:  $\pm \gamma = p\% = 1,5\%$

Относительная погрешность:

$$\pm \delta = p \cdot \frac{X_N}{X} = 1,5 \frac{1}{0,87} = 1,72\%$$

В соответствии с правилами округления результат измерения имеет вид

$$0,870 \pm 0,015 \text{ В}$$

### Задача 2

Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0,1/0,05 с пределом 10 В для показания 7,93 В.

#### *Решение*

Для цифрового вольтметра относительная погрешность равна (рис.5.1):

$$\pm \delta = \left[ c + d \left( \left| \frac{X_K}{X} \right| - 1 \right) \right] = 0,1 + 0,05 \left( \left| \frac{10}{7,93} \right| - 1 \right) = 0,113\%$$

Здесь  $X_K = 10$  В предел измерений;

$c/d = 0,1/0,05$  – класс точности;

$X = 7,93$  В – показание цифрового вольтметра.

По относительной погрешности определяется абсолютная:

$$\pm \Delta = \delta \cdot \frac{X}{100} = 0,113 \cdot \frac{7,93}{100} = 0,009 \text{ В}$$

В соответствии с правилами округления результат измерения имеет вид  $7,930 \pm 0,009$  В

## **6. Раздел №6. «Обработка результатов прямых многократных равноточных измерений»**

### **6.1. Основные положения**

При однократных измерениях оценку погрешности производят на основе класса точности используемых средств измерений (раздел 5).

Получаемый при этом предел допускаемой погрешности СИ не-полно характеризует качество измерений, т. е. остается неизвестным закон распределения вероятностей погрешностей и не ясно, какая из составляющих систематическая  $\Delta_c$  или случайная  $\Delta$  доминируют в сумме

$$\Delta = \Delta_c + \overset{\circ}{\Delta} \quad (6.1)$$

Для того, чтобы оценить случайную погрешность и определить более точно усредненный результат измерения проводят многократные наблюдения и статистическую обработку их.

Структура погрешности в каждой точке шкалы СИ полностью характеризуется плотностью распределения вероятностей. Определение оценки плотности распределения вероятностей (гистограммы) требует проведения нескольких сотен измерений

В практике электроизмерений чаще всего имеют дело с нормальным распределением.

Результаты наблюдений, являющихся случайными величинами  $X$ , распределены по нормальному закону (закону Гаусса), если их плотность вероятностей имеет вид

$X$  - математическое ожидание.

Для решения многих задач не требуется знания функции и плотности распределения вероятностей, а вполне достаточными характеристиками случайных погрешностей служат их простейшие числовые



характеристики: математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение. Числовые вероятностные характеристики погрешностей, представляющие собой неслучайные величины, теоретически определяются при конечном числе опытов.

$$f(x) = (\sigma \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \cdot \left[ \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right) \right] \quad (6.2)$$

Где  $\sigma$  - дисперсия;

Практически число опытов всегда ограничено, поэтому реально пользуются числовыми характеристиками, которые принимают за искомые вероятностные характеристики и называют оценками характеристик. Определение оценок числовых характеристик может быть выполнено по значительно меньшему числу наблюдений  $N$  порядка 10-20).

Пусть при измерении величины  $A$ ,  $N$  раз получен ряд значений  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ . Если число измерений  $N$  достаточно велико, то за истинное значение измеряемой величины принимают наиболее достоверное значение - среднее арифметическое (действительное)

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad (6.3)$$

Зная среднее арифметическое значение, можно определить отклонение результата единичного измерения от среднего значения

$$\Delta_i = \bar{X}_i - \bar{X} \quad (6.4)$$

Это отклонение может быть вычислено для каждого измерения. Следует помнить, что сумма отклонения результата измерений от среднего значения равна нулю, а сумма их квадратов минимальна. Эти свойства используются при обработке результатов измерений для контроля правильности вычислений.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) погрешности однократного измерения  $\sigma$  равно

$$\sigma \cong S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (6.5)$$

В теории случайных погрешностей вводится также понятие о среднем квадратическом отклонении среднего арифметического  $\sigma_x$  (средняя квадратическая погрешность результата измерений)

$$\sigma_{\bar{x}} \cong S_{\bar{x}} = \pm \frac{S}{\sqrt{N}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}} \quad (6.6)$$

где  $S_{\bar{x}}$  - оценка средней квадратической погрешности  $\sigma_x$  ряда из  $N$  измерений.

При оценке результатов измерений пользуются понятием предельно допустимой (максимальной) погрешности ряда измерений

$$\Delta_{\text{макс}} = 3 \sigma \quad (6.7)$$

Рассмотренные оценки результатов измерений, выражаемые одним числом, называют точечными оценками. Поскольку подобную оценку обычно принимают за действительное значение измеряемой величины, то возникает вопрос о точности и надежности полученной оценки. Судят об этом по вероятности  $\alpha$  того, что результат измерений (действительное значение) отличается от истинного не более чем на  $\Delta$ . Это можно записать в виде

$$P(\bar{X} - \Delta) < A < (\bar{X} + \Delta) \} \alpha \quad (6.8)$$

Вероятность  $\alpha$  называется доверительной вероятностью или коэффициентом надежности, а интервал значений от  $\bar{X} - \Delta$  до  $\bar{X} + \Delta$  — доверительным интервалом. Обычно его выражают в долях средней квадратической погрешности

$$\Delta = \pm t_{\alpha}(N) \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (6.9)$$

где  $t_{\alpha}(N)$  - табулированный коэффициент распределения Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности  $\alpha$  и числа измерений  $N$  (таблица 6.1).

Результат измерения записывается в виде

$$\bar{X} \pm \Delta ; \alpha \quad (6.10)$$

При расчетах необходимо пользоваться правилами округления, изложенными в разделе 5.

Коэффициенты Стьюдента  $t_{\alpha}$  для заданных значений  $\alpha$ ,  $N$

Таблица 6.1

$\alpha$ N	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
5	2,132	2,227	2,333	2,456	2,601	2,776	2,999	3,298	3,747	4,604
6	2,015	2,008	2,191	2,298	2,422	2,571	2,757	3,003	3,365	4,032
7	1,943	2,019	2,105	2,202	2,314	2,447	2,613	2,829	3,163	3,707
8	1,895	1,967	2,047	2,137	2,241	2,365	2,517	2,715	2,998	3,499
9	1,860	1,938	2,005	2,091	2,190	2,306	2,449	2,634	2,896	3,355
10	1,833	1,900	1,973	2,056	2,151	2,262	2,399	2,574	2,821	3,250
11	1,812	1,877	1,949	2,029	2,121	2,228	2,260	2,528	2,764	3,169
12	1,796	1,859	1,929	2,007	2,097	2,201	2,329	2,491	2,718	3,106
13	1,782	1,845	1,913	1,989	2,077	2,179	2,303	2,461	2,681	3,055
14	1,771	1,832	1,899	1,974	2,061	2,160	2,282	2,436	2,650	3,012
15	1,761	1,822	1,888	1,962	2,047	2,145	2,264	2,415	2,624	2,477
16	1,753	1,813	1,878	1,951	2,034	2,131	2,249	2,398	2,602	2,947

## 6.2. Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 6 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где M-предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 6 необходимо решить **две** задачи:

6.2.1 – **первую** задачу в соответствии с таблицей вариантов 6.2, тексты задач приведены в таблице 6.3.

Примеры решения задач даны в разделе 6.3.

6.2.2 –**вторую** задачу, приведенную в разделе 6.2.2.

### 6.2.1 Таблицы вариантов первой задачи

Таблица 6.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	6.2	6.4	6.9	6.7	6.5	6.1	6.8	6.6	6.10	6.3

Таблица 6.3

<b>Задача</b>	<b>Исходные данные</b>
6.1. Определить доверительный интервал и записать результат измерения напряжения 37,186 В при СКО погрешности однократного измерения 0,249 В	Число измерений равно 5, доверительная вероятность 0,95.
6.2. Определить доверительный интервал и записать результат измерения мощности 87,35 Вт при СКО погрешности однократного измерения 0,164 Вт	Число измерений равно 7, доверительная вероятность 0,92
6.3. Определить доверительный интервал и записать результат измерения тока 61,93 мА при СКО погрешности однократного измерения 0,37 мА	Число измерений равно 9, доверительная вероятность 0,98
6.4. Определить доверительный интервал и записать результат измерения сопротивления 0,836 Ом при СКО погрешности однократного измерения 0,0142 Ом	Число измерений равно 6, доверительная вероятность 0,93
6.5. Определить границы результата измерения напряжения 43,62 мВ при СКО погрешности однократного измерения 0,579 мВ	Число измерений равно 8, доверительная вероятность 0,99
6.6. Определить границы результата измерения сопротивления 27,48 МОм при СКО погрешности однократного измерения 0,79 мВ	Число измерений равно 4, доверительная вероятность 0,91
6.7. Определить доверительный интервал и записать результат измерения напряжения 74,526 В при СКО погрешности однократного измерения 0,237 В	Число измерений равно 7, доверительная вероятность 0,98.

6.8. Определить доверительный интервал и записать результат измерения мощности 47,38 Вт при СКО погрешности однократного измерения 0,156 Вт	Число измерений равно 8, доверительная вероятность 0,95
6.9. Определить доверительный интервал и записать результат измерения сопротивления 0,714 Ом при СКО погрешности однократного измерения 0,0263 Ом	Число измерений равно 9, доверительная вероятность 0,96
6.10. Определить доверительный интервал и записать результат измерения тока 57,28 мА при СКО погрешности однократного измерения 0,46 мА	Число измерений равно 6, доверительная вероятность 0,97

## 6.2.2 Задача

В одинаковых условиях производятся прямые измерения коэффициента усиления  $K$  на фиксированной частоте партии из  $N$  усилителей. Считая, что случайные погрешности имеют нормальный закон распределения, определить на основании заданного количества измерений (табл. 6.4 и 6.6):

- 1) наиболее достоверное (среднее арифметическое) значение  $K$ ;
- 2) среднее квадратическое отклонение погрешности однократного измерения;
- 3) среднее квадратическое отклонение погрешности результата измерения;
- 4) максимальную погрешность;
- 5) доверительный интервал результата измерения при заданной доверительной вероятности  $\alpha$  (табл. 6.5);
- 6) записать результат измерения (с учетом округления) в стандартной форме.

Решение задачи излагается подробно с соответствующими пояснениями.

Исходные данные и результаты решения свести в таблицу 6.8.

Таблица 6.4

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	4-15	2-14	9-20	4-14	3-16	1-14	10-20	7-18	8-20	6-17

Таблица 6.5

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha$	0.95	0.99	0.90	0.95	0.98	0.92	0.94	0.97	0.93	0.91

Таблица 6.6

$N_{H3M}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_i$	28.11	27.86	27.71	27.93	27.51	27.62	27.66	26.99	27.42	27.65
$N_{H3M}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$K_i$	27.78	27.95	27.47	27.47	27.08	27.60	27.35	27.28	27.18	27.46

## Исходные данные и результаты решения варианта М L

Таблица 6.8

Число измерений N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NN Наблюдений i										
$K_i$										
$\bar{K}$										
$\sigma$										
$\sigma_{\bar{E}}$										
$\Delta_{\max}$										
$t_{\alpha}$										
$\Delta$										
Результат измерения										

### 6.3 Примеры решения задач

#### *Задача*

Определить доверительный интервал и записать результат измерения напряжения 37,86 В при СКО погрешности однократного измерения 0,14 В, если число измерений равно 5, доверительная вероятность 0,93.

### Решение

Доверительный интервал результата измерения при доверительной вероятности  $\alpha$  равен (6.9):

$$\Delta = \pm t_{\alpha} \cdot \sigma_{\bar{K}},$$

где  $t_{\alpha}$  - коэффициент распределения Стьюдента, зависящий от  $\alpha$  и числа измерений  $N$ .

При  $\alpha=0,93$  и  $N=5$  в соответствии с табл.6.1 имеем значение  $t_{\alpha} = 2,456$ .

Средняя квадратическая погрешность результата измерений  $\sigma_x$  равна (6.6)

$$\sigma_{\bar{x}} \cong \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0,14}{\sqrt{5}} = 0,0625\text{В}$$

Доверительный интервал результата измерения получается равным

$$\Delta = \pm t_{\alpha} \sigma_{\bar{K}} = \pm 2,456 \cdot 0,0623 = 0,153 \text{ В}$$

Результат прямых многократных измерений напряжения записывается в виде (6.10)

$$37,86 \pm 0,15 \text{ В}; 0,93$$



## 7. Раздел №7. «Обработка результатов косвенных однократных измерений».

### 7.1. Основные положения.

Косвенными называют измерения, при которых искомое значение физической величины определяют на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Определения погрешностей результата косвенного измерения базируется на следующей теореме из теории погрешностей.

Пусть физическая величина  $Z$ , значение которой измеряют косвенным путем представляет собой нелинейную дифференцируемую функцию

$$Z=f(X_1, X_2, \dots, X_q) \quad (7.1)$$

и  $X_1, X_2, \dots, X_q$  - независимые результаты прямых измерений значений аргументов  $X_1, X_2, \dots, X_q$ , полученные с абсолютными среднеквадратическими случайными погрешностями  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_q$ , и содержащие соответственно абсолютные систематические погрешности  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_q$ .

Тогда результат косвенного измерения  $A$ , определяемый из выражения

$$A=f(X_1, X_2, \dots, X_q) \quad (7.2)$$

содержит абсолютную систематическую погрешность

$$\Delta_A \approx \frac{\partial Z}{\partial X_1} \Delta_1 + \frac{\partial Z}{\partial X_2} \Delta_2 + \dots + \frac{\partial Z}{\partial X_q} \Delta_q \quad (7.3)$$

и характеризуется абсолютной среднеквадратической случайной погрешностью

$$\sigma_A = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X_1}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_2}\right)^2 \sigma_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_q}\right)^2 \sigma_q^2} \quad (7.4)$$

где  $dZ/dX$  - частные производные.

При расчете относительных погрешностей результата измерений выражения (7.3) и (7.4) делят на  $A$ . Тогда относительная систематическая погрешность получается равной:

$$\delta_{сум} = \Delta_A/A = (\partial Z/\partial X_1)(\Delta_{x1}/A) + (\partial Z/\partial X_2)(\Delta_{x2}/A) + \dots + (\partial Z/\partial X_q)(\Delta_q/A) \quad (7.5)$$

и относительная среднеквадратическая случайная погрешность вычисляется по формуле

$$\delta_{ср} = \frac{\sigma_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X_1}\right)^2 \left(\frac{\sigma_1}{A}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_2}\right)^2 \left(\frac{\sigma_2}{A}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial X_q}\right)^2 \left(\frac{\sigma_q}{A}\right)^2} \quad (7.6)$$

## 7.2. Текст задания и условие задачи

При определении расстояния до места обрыва жилы кабеля  $L_x = C_L/C_p$ , измеренная величина емкости поврежденной жилы оказалась равной  $C_L$  при рабочей емкости пары  $C_p$ . Определить погрешность  $\Delta_x$  однократного измерения расстояния до места повреждения, если известны систематические погрешности:  $\Delta_L$  - емкости поврежденной жилы;  $\Delta_p$  - рабочей емкости. Произвести запись результата измерения.

Случайными составляющими погрешностей пренебречь. Исходные данные для расчета сведены в таблицы 7.1, 7.2. 1.9, 1.10

Расчет погрешности  $\Delta_x$  определения расстояния до места повреждения по методике раздела.7.1 приводится полностью. Исходные данные и результаты расчета свести в таблицу 7.3.

Таблица. 7.1

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип кабеля	МКСА 1x4	ТПС	ТПП	МКСГ	ЗКПБ	МКСГ	КСПП 1x4x0.9	МКСГ	МКСА 7x4	КСПП 1x4x1.2
$C_p$ , нФ/км	25,6	45	45	23,8	37	24,0	35	24,2	24,0	43,5
$\pm\Delta_p$ нФ/км	0,8	6	5	0,9	0,8	0,7	3,0	0,6	0,8	3,0

Таблица 7.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_L$ , нФ	53,2	37,5	71,4	29,3	41,6	62,7	48,1	34,8	43,5	51,7
$\pm\Delta_L$ нФ	0,5	0,6	1,1	0,4	0,6	0,9	0,7	0,5	0,6	0,8

Таблица 7.3

М	L	Тип	C <sub>p</sub>	ΔP	CL	ΔL	Δx	L=L <sub>x</sub> ± Δx
		кабеля	нФ/км	нФ/км	нФ	нФ	км	км

## 8. Раздел №8. «Определение параметров переменных напряжений и показаний вольтметров различных типов»

### 8.1. Основные положения

Для характеристики переменного напряжения используют следующие параметры: — среднее значение (постоянная составляющая)  $U_0$ ,

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} S_{u(t)} \quad (8.1)$$

где  $S_{u(t)}$  - площадь, занимаемая кривой напряжения;

- средневывпрямленное значение  $U_{св}$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (8.2)$$

- среднеквадратическое (действующее, эффективное) значение

$$U_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (8.3)$$

Для несинусоидального напряжения, разложенного в ряд Фурье, т.е.

$$u(t) = U_0 + \sum_{i=1}^N U_{m_i} \cdot \sin(i\omega t + \varphi_i) \quad (8.4)$$

Среднеквадратическое значение напряжения получается равным

$$U_{\text{н\acute{e}}} \approx \sqrt{U_0^2 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_{m_i}}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (8.5)$$

максимальное (амплитудное, пиковое) значение  $U_m$  — наибольшее мгновенное значение напряжения на интервале наблюдения, на периоде для периодических сигналов.

В соответствии с ГОСТ 16465-70 термины "амплитудное", "пиковое", "действующее" и "эффективное" значения сигнала являются недопустимыми.

Перечисленные параметры связаны между собой посредством следующих коэффициентов:

$$K_{\phi} = U_{\text{СК}} / U_{\text{СВ}} \quad (8.6)$$

$$K_A = U_{\text{И}} / U_{\text{СК}} \quad (8.7)$$

$$K_y = K_{\phi} K_A = U_{\text{И}} / U_{\text{СВ}} \quad (8.8)$$

Для того, чтобы рассчитать эти коэффициенты, необходимо:

- записать математическую модель исследуемого напряжения  $u(t)$ ;
- вычислить  $U_{\text{СВ}}$  по (8.2) и  $U_{\text{СК}}$  по (8.3) или (8.5);
- подставить полученные значения в выражения (8.6) ... (8.8).

Для того, чтобы найти показания различных типов аналоговых вольтметров при подаче на их вход переменных напряжений необходимо

- записать математическую модель измеряемого напряжения  $u(t)$ ;
- учесть тип входа вольтметра, при закрытом входе вычислить по (8.1) среднее значение сигнала  $U_0$  и записать

$$u'(t) = u(t) - U_0 \quad (8.9)$$

- вычислить напряжение, на которое откликается вольтметр  $U_{\text{ОТК}}$ ;
- найти показание вольтметра  $U$  на основании  $U_{\text{ОТК}}$  и коэффициента градуировки  $C$

$$U = C \cdot U_{\text{ОТК}} \quad (8.10)$$

Значение  $U_{\text{ОТК}}$  и  $C$  для различных типов аналоговых вольтметров можно определить по таблице 8.1.

Таблица 8.1

Тип вольтметра	Магнитоэлектр М/Э	Электромагн. Э/М	Электродин Э/Д	Электростат. Э/С	Термоэлектр. Т/Э	Выпрямит. В1 В2	Средне-кв. знач. $U_{СК}$	Средне-выпрям. знач. С/В	Имп. И/В	Универсальный У/В
Тип преобразователя	—	—	—	—	Средне-кв. знач.	Средне-выпрям. знач.	Средне-кв. знач.	Средне-выпрям. знач.	Макс. значение	Макс. значение
напряжения, на которое отключается вольтметр,	$U_0$	$U_{СК}$	$U_{СК}$	$U_{СК}$	$U_{СК}$	$U_{СВ}$	$U_{СК}$	$U_{СВ}$	$U_m$	$U_m$
Значение напряжения, в котором отградуирован вольтметр,	$U_0$	$U_{СК}$	$U_{СК}$	$U_{СК}$	$U_{СК}$	$U_{СК}$	$U_{СК1}$	$U_{СК}$	$U_m$	$U_{СК}$
Угол	1	1	1	1	1	2.22 – В/2 1.11 – В/1		1.11	1	0.71
Значение коэффициента градуировки,	$C$									

В/1 – выпрямительный с однополупериодной схемой выпрямления  
 В/1 – выпрямительный с двухполупериодной схемой выпрямления

Структурные схемы аналоговых вольтметров, указанных в таблице 8.1, назначение и реализация отдельных блоков приведены в конспекте лекций по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» (Лекция 7. Измерение тока и напряжения).

### Вольтметры переменного тока (типа ВЗ)

Вольтметры переменного тока строятся по схеме усилитель-преобразователь. В качестве преобразователей могут использоваться квадратичные или линейные детекторы.

Структурная схема вольтметра среднеквадратических значений приведена на рис.8.1.

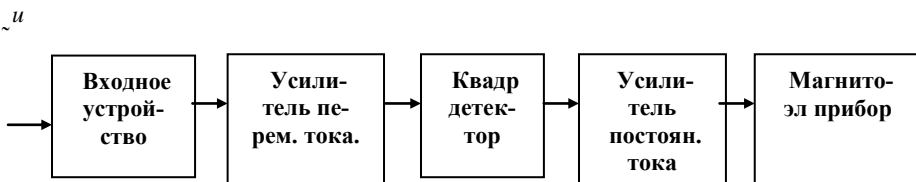


рис. 8.1

Квадратичный детектор преобразует переменное напряжение в постоянное, пропорциональное квадрату среднеквадратического значения измеряемого напряжения. Эти вольтметры откликаются на среднеквадратическое значение, градуируются в среднеквадратических значениях и имеют коэффициент градуировки  $C=1$ .

Структурная схема вольтметра средневывпрямленных значений приведена на рис. 8.2.

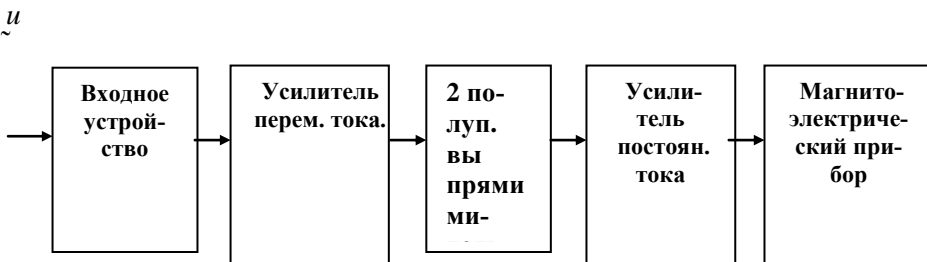


Рис. 8.2

В таких вольтметрах в качестве преобразователя используется линейный детектор, преобразующий переменное напряжение в постоянный ток, пропорциональный средневыпрямленному значению измеряемого напряжения. Такие преобразователи выполняются по схемам двухполупериодного выпрямления. Эти вольтметры откликаются на средневыпрямленное значение, градуируются в среднеквадратических значениях и имеют коэффициент градуировки  $C=1,11$ .

### **Импульсные вольтметры (типа В4)**

Импульсные вольтметры строятся по схеме преобразователь - усилитель, в качестве преобразователя используется амплитудный детектор, напряжение на выходе которого соответствует максимальному (амплитудному) значению измеряемого сигнала. Структурная схема импульсного вольтметра приведена на рис. 8.3.

ц

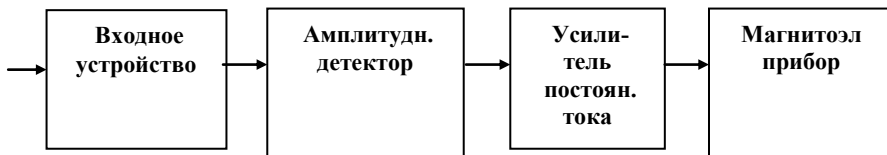


рис. 8.3

Амплитудный детектор осуществляет преобразование переменного сигнала в постоянный, пропорционально значению входного сигнала, поэтому такие вольтметры откликаются на максимальные значения, градуируются в максимальных значениях и имеют  $C=1$ .

### **Универсальный вольтметр (типа В7)**

Универсальный вольтметр позволяет измерять как постоянный, так и переменный ток. При измерении переменного напряжения вольтметр имеет схему преобразователь - усилитель. В качестве преобразователя используется амплитудный (пиковый) детектор, напряжение на выходе которого соответствует максимальному (амплитудному) значению из-

меряемого сигнала. Структурная схема универсального вольтметра приведена на рис. 8.4.

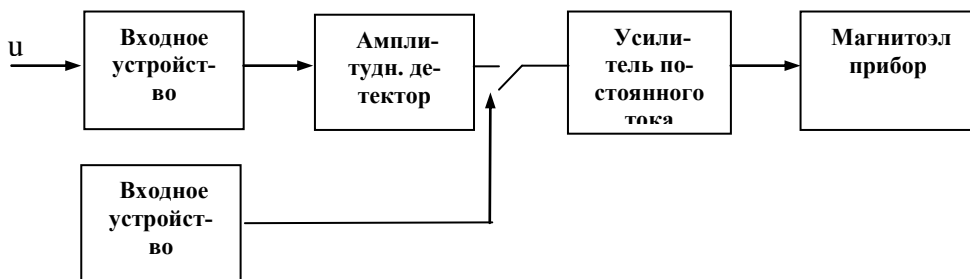


Рис. 8.4

Эти вольтметры при измерении переменного напряжения откликаются на максимальное значение, градуируются в среднеквадратических значениях и имеют коэффициент градуировки  $C=0,71$ .

### 8.2. Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 8 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где M-предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 8 необходимо решить **четыре** задачи:

8.2.1 – **три** задачи в соответствии с таблицами вариантов 8.2, 8.3, тексты задач приведены в таблицах 8.4, 8.5.

Примеры решения задач даны в разделе 8.3.

8.2.2 – **одну** задачу, приведенную в разделе 8.2.2.

Таблица 8.2

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	8.2	8.6	8.1	8.4	8.3	8.5	8.1	8.4	8.6	8.2

Таблица 8.3

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	8.13	8.11	8.7	8.12	8.15	8.8	8.14	8.10	8.9	8.16
	8.17	8.20	8.25	8.23	8.19	8.22	8.21	8.18	8.26	8.24



Таблица 8.4

Задача	Исходные данные			
8.1 Составьте структурную схему вольтметра средневыпрямленных значений	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
8.2 Составьте структурную схему вольтметра среднеквадратических значений	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
8.3 Составьте структурную схему импульсного вольтметра	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
8.4 Составьте структурную схему универсального вольтметра для измерения постоянного напряжения	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока тока	4. Видео усил
	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор

<p>8.5 Составьте структурную схему универсального вольтметра для измерения переменного напряжения</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="286 116 449 212">1. Входное устройство</td> <td data-bbox="465 116 628 212">2. Усил-ль пер. тока</td> <td data-bbox="645 116 807 212">3. Усил-ль пост. тока</td> <td data-bbox="824 116 986 212">4. Видео усил</td> </tr> <tr> <td data-bbox="286 236 449 331">5. 2-х полуп выпр</td> <td data-bbox="465 236 628 331">6. Квадр детек</td> <td data-bbox="645 236 807 331">7. Ампл. детектор</td> <td data-bbox="824 236 986 331">8. Магнитоэл прибор</td> </tr> </table>	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил						
5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор						
<p>8.6 Составьте структурную схему универсального вольтметра</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="286 474 449 569">1. Входное устройство</td> <td data-bbox="465 474 628 569">2. Усил-ль пер. тока</td> <td data-bbox="645 474 807 569">3. Усил-ль пост. тока</td> <td data-bbox="824 474 986 569">4. Видео усил</td> </tr> <tr> <td data-bbox="286 593 449 689">5. 2-х полуп выпр</td> <td data-bbox="465 593 628 689">6. Квадр детек</td> <td data-bbox="645 593 807 689">7. Ампл. детектор</td> <td data-bbox="824 593 986 689">8. Магнитоэл прибор</td> </tr> </table>	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил	5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил						
5. 2-х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор						

Таблица 8.5

Задача	Исходные данные
<p>8.7 Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.</p>	$u(t) = 5 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
<p>8.8 Определить показание импульсного вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.</p>	$u(t) = 5 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
<p>8.9 Определить показание универсального вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.</p>	$u(t) = 9 + 6 \sin(\omega t + \varphi_1)$

8.10 Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.11 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.12 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 2\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.13 Определить показание магнитоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 21 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.14 Определить показание электродинамического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 11 + 17\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.15 Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 16 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.16 Определить показание термоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 15 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.17 Определить показание магнитоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 13 + 12\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.18 Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 15 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$

8.19 Определить показание импульсного вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 5 + 17\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.20 Определить показание универсального вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 19 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.21 Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 16\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.22 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 12\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.23 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 14 + 21\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.24 Определить показание электродинамического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 18 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.25 Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 11 + 9\sin(\omega t + \varphi_1)$
8.26 Определить показание термоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 19 + 3\sin(\omega t + \varphi_1)$

### 8.2.2. Задача

Определить:

- коэффициенты формы и амплитуды для двух заданных форм напряжения (таблица 8.6, рис.8.5 а...к);
- найти показания вольтметров трех типов (таблица 8.7).

Таблица 8.6

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рис 8.5	а,з	б,к	в,з	г,и	д,з	а,е	б,ж	д,з	в,и	з,к
$T, \text{мкс}$	60	16	75	36	40	10	24	60	40	30
$\tau, \text{мкс}$	15	4	25	12	40	5	12	60	20	30
$U_m, \text{В}$	6	12	8	7	2	10	16	20	14	18

Таблица 8.7

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Типы вольт- метров	М/Э	Э/М	Э/Д	Э/С	Т/Э	М/Э	Э/М	Э/Д	Э/С	Т/Э
	СК/0	В/1	В/2	СВ/0	ИВ/3	ИВ/0	УВ/0	УВ/3	СК/0	СВ/0
	УВ/3	ИВ/3	УВ/3	СК/3	СВ/3	СК/3	СВ/3	СК/0	УВ/3	ИВ/3

В таблицах 8.6, 8.7 введены следующие обозначения:  
/0 - открытый вход; /3 - закрытый вход

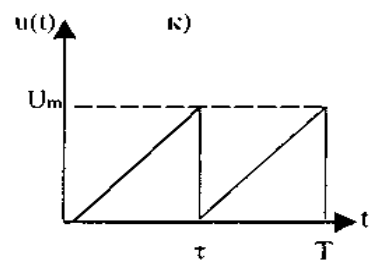
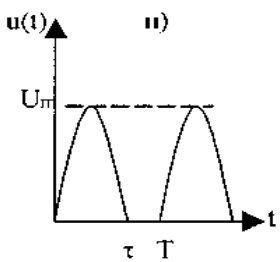
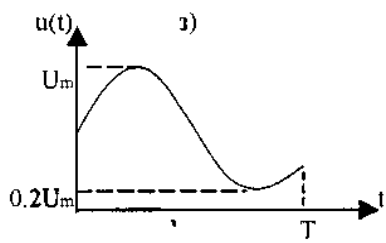
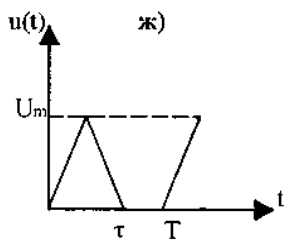
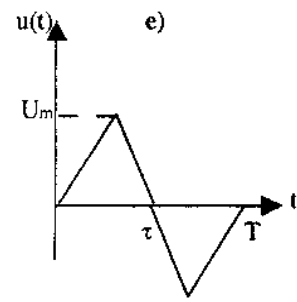
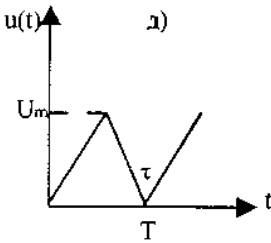
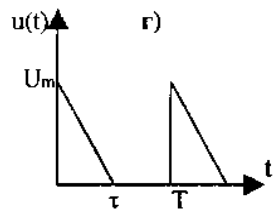
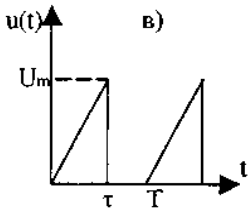
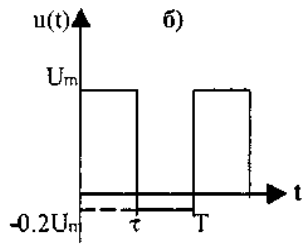
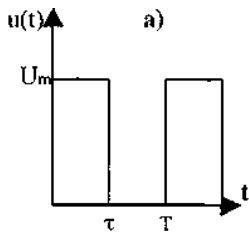


Рис. 8.5

Решение задачи приводится подробно, с соответствующими пояснениями Исходные данные и результаты решения представляются в таблице 8.8.

Таблица 8.8

Форма напряжения	Параметры напряжения						Значения коэффициентов		Показания вольтметров		
	$\tau$ мкс	$T$ мкс	$U_m$ В	$U_0$ В	$U_{св}$ В	$U_{ск}$ В	$K_\phi$	$K_A$			
рис 3.1											

### 8.3 Примеры решения задач

#### Задача 1

Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения  $u(t) = 8 + 4\sin(\omega t + \phi_1)$

#### Решение

Импульсный вольтметр имеет закрытый вход, поэтому постоянная составляющая  $U_0 = 8$  В не проходит.

Как видно из таблицы 8.1, импульсный вольтметр откликается на максимальное значение измеряемого переменного напряжения (без постоянной составляющей)  $U_{отк}=U_m$  и градуируется в этих же значениях, т.е. коэффициент градуировки равен  $C=1$ .

Напряжение, на которое откликается вольтметр  $U_{отк}=U_m = 4$  В.

Показание импульсного вольтметра с закрытым входом  $U$  равно

$$U = C U_{отк} = 1 \cdot 4 = 4 \text{ В}$$

#### Задача 2

Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения  $u(t) = 8 + 4\sin(\omega t + \phi_1)$

### *Решение*

Универсальный вольтметр имеет открытый вход, поэтому постоянная составляющая  $U_0 = 8 \text{ В}$  проходит.

Как видно из таблицы 8.1, универсальный вольтметр откликается на максимальное значение измеряемого переменного напряжения (с учетом постоянной составляющей)  $U_{\text{отк}}=U_m$  и градуируется в среднеквадратических значениях, т.е. коэффициент градуировки равен  $C=0,71$ .

Напряжение, на которое откликается вольтметр  $U_{\text{отк}}=U_0 + U_m = 8 + 4 = 12 \text{ В}$ .

Показание универсального вольтметра с открытым входом  $U$  равно

$$U = C U_{\text{отк}} = 0,71 \cdot 12 = 8,52 \text{ В}$$

### *Задача 3*

Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.  $u(t) = 8 + 4\sin(\omega t + \varphi_1)$

### *Решение*

Как видно из таблицы 8.1, электростатический вольтметр откликается на среднеквадратическое значение  $U_{\text{отк}}=U_{\text{ск}}$  и градуируется в среднеквадратических значениях, т.е. коэффициент градуировки равен  $C=1$ .

Электростатический вольтметр измеряет как постоянную, так и переменную составляющие.

Напряжение, на которое откликается вольтметр  $U_{\text{отк}}=U_{\text{ск}}$ .

Определяем среднеквадратическое значение напряжения  $U_{\text{ск}}$

$$U_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U(t)^2 dt} = \sqrt{U_0^2 + \left(\frac{U_m}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{8^2 + \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2} = 8,49 \text{ В}$$

Показание электростатического вольтметра  $U$  равно

$$U = C U_{\text{отк}} = 1 \cdot 8,49 = 8,49 \text{ В}$$



## 9. Раздел №9. «Осциллографические измерения параметров сигналов»

### 9.1 Основные положения

Для получения осциллограммы исследуемого сигнала необходимо управлять движением электронного пучка на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) в горизонтальном и вертикальном направлениях. Под действием сигнала, который подается на канал вертикального отклонения "Y", электронный луч движется в вертикальном направлении. При линейной развертке горизонтального отклонения генератор развертки вырабатывает пилообразное напряжения. Под действием генератора линейной развертки луч движется в горизонтальном направлении.

При одновременном действии сигнала на "Y" пластины и генератора развертки на "X" пластины луч движется по сложной траектории, описывая на экране ЭЛТ форму сигнала. Для того чтобы изображение сигнала на экране было неподвижным, необходимо, чтобы соблюдалось равенство:

$$T_p = k \cdot T_c \quad (9.1)$$

где  $T_p$  - период пилообразного напряжения генератора развертки;

$T_c$  - период сигнала;

$k$  – число, показывающее сколько периодов сигнала укладывается в периоде развертки.

При линейной развертке на экране ЭЛТ получаем изображение сигнала как функцию времени. При определении различных параметров сигнала (частоты, фазы) употребляется синусоидальная развертка. Для ее получения в осциллографе нужно отключить генератор развертки и на вход "X" подать синусоидальное напряжение. На экране получим фигуру Лиссажу.

Если известна частота сигнала, поданного на вход "Y", то можно определить частоту сигнала, поданного на вход "X", и наоборот, по формуле:

$$f_x n_x = f_y n_y \quad (9.2)$$

где  $f_x, f_y$  - частоты сигналов, поданных соответственно на входы "X" и "Y",  
 $n_y, n_x$  — количество точек пересечения фигуры Лиссажу осями X и Y.

Если на входы "X" и "Y" подать сигналы равных частот, то в зависимости от сдвига фаз между сигналами на экране ЭЛТ получим частный случай фигуры Лиссажу: эллипс, круг, наклонная прямая. При равных частотах и сдвиге фаз, равном  $90^\circ$ , на экране будет круг. Круговую развертку часто используют для измерения частоты сигнала. Меньшую по величине частоту  $f_x$  подают на вход "Y" и со сдвигом в  $90^\circ$  на вход "X" Большую по величине частоту подают на вход "Z" (модулятор яркости). На экране получится круг с яркостными метками. Измеряемую частоту можно рассчитать по формуле:

$$f_x = f_z / N \quad (9.3)$$

где  $N$  - количество яркостных меток.

## 9.2 Измерение напряжения

Измерение напряжения производится в первом основном режиме работы осциллографа - в режиме линейной калиброванной развертки.

Измеряемое напряжение  $u_c(t)$  подается на вход  $Y$  осциллографа. На пластины  $X$  ЭЛТ поступает сигнал генератора развертки пилообразной формы  $u_{ГР}(t)$ .

$$\begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{ГР}(t) \end{cases} \quad (9.4)$$

В этом случае на экране наблюдается осциллограмма в виде зависимости поданного на вход  $Y$  сигнала от времени. Пример осциллограммы для синусоидального сигнала приведен на рис. 9.1.

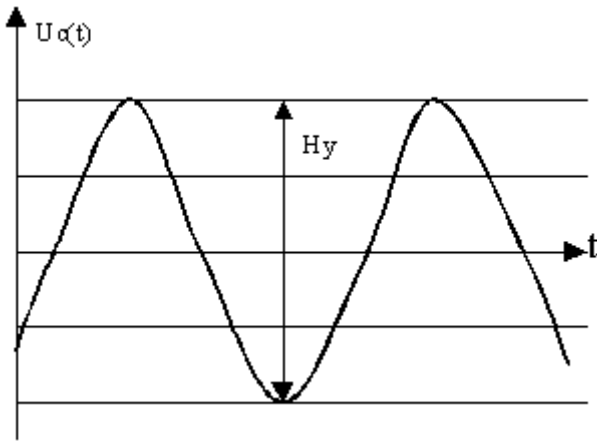


Рис. 9.1

При симметричном двухполярном сигнале его амплитуда определяется из соотношения

$$U_m = \frac{H_y \cdot m_y}{2} \quad (9.5)$$

где  $H_y$  - геометрический размер по вертикали, соответствующий “размаху” осциллограммы (разности максимального и минимального отклонения луча) [дел];

$m_y$  - коэффициент отклонения по шкале Y (цена деления по вертикали) [В/дел].

При несимметричном однополярном сигнале его амплитуда определяется по формуле

$$U_m = H_y \cdot m_y \quad (9.6)$$

### 9.3 Измерение частоты

#### 9.3.1 Измерение частоты методом линейной калиброванной развертки

Измерение частоты методом линейной калиброванной развертки производится в первом основном режиме работы осциллографа - в режиме линейной развертки.

При измерении частоты методом линейной калиброванной развертки осциллографа измеряемый сигнал  $u_c(t)$  подается на вход Y осциллографа. На пластины X ЭЛТ поступает сигнал генератора развертки пилообразной формы  $u_{ГР}(t)$ .

Пример осциллограммы для синусоидального сигнала приведен на рис. 9.2.

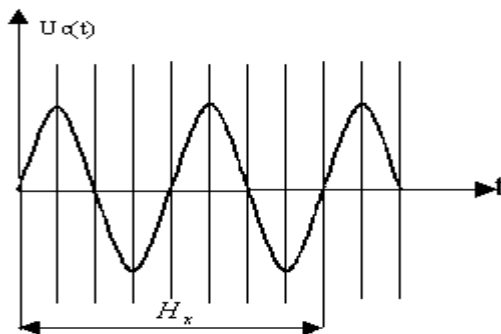


Рис. 9.2

Период и частота исследуемого сигнала определяются из соотношений

$$T_c = \frac{H_x \cdot m_x}{n} \quad (9.7)$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{n}{H_x \cdot m_x} \quad (9.8)$$

где  $n$  – целое число периодов сигнала;

$H_x$  - геометрический размер по горизонтали, соответствующий  
целому числу периодов сигнала [дел];

$m_x$  - коэффициент отклонения (развертки) по шкале X (цена деления по горизонтали)  $\left[ \frac{\text{время}}{\text{дел}} \right]$ .

### 9.3.2 Измерение частоты методом синусоидальной развертки

Измерение частоты методом синусоидальной развертки производится во втором основном режиме работы осциллографа - режиме усиления (сравнения, фигур Лиссажу). Гармонические сигналы подаются на входы Y и X осциллографа одним из двух указанных способов:

$$1) \begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{обр}(t) \end{cases} \quad 2) \begin{cases} u_y(t) = u_{обр}(t) \\ u_x(t) = u_c(t) \end{cases} \quad (9.9)$$

На экране наблюдается фигура Лиссажу, вид которой зависит от частотных и фазовых соотношений поданных сигналов. Пример фигуры Лиссажу приведен на рис. 9.3.

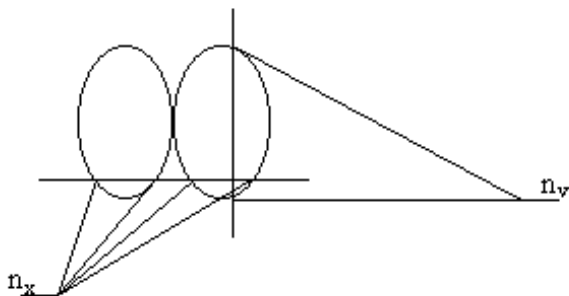


Рис. 9.3

Полученная фигура мысленно пересекается двумя взаимно перпендикулярными осями (оси не должны проходить через узлы фигуры). Подсчитывается количество точек пересечения с осью X -  $n_x$  и осью Y -  $n_y$  (рис. 9.3).

В этом случае выполняется соотношение

$$f_x \cdot n_x = f_y \cdot n_y \quad (9.10)$$

Частота напряжения, подаваемого на вход Y осциллографа, определяется из соотношения (9.10)

$$f_y = f_x \frac{n_x}{n_y} \quad (9.11)$$

где  $f_x$  - частота напряжения, подаваемого на вход X осциллографа.

В зависимости от способа подачи (9.9) напряжений измеряемой  $u_c(t)$  и образцовой частот  $u_{обр}(t)$  неизвестная частота  $f_c$  будет определяться соотношениями:

Первый способ

$$f_{обр} \cdot n_x = f_c \cdot n_y \quad f_c = f_{обр} \frac{n_x}{n_y} \quad (9.12)$$

Второй способ

$$f_{обр} \cdot n_y = f_c \cdot n_x \quad f_c = f_{обр} \frac{n_y}{n_x} \quad (9.13)$$

#### 9.4. Текст задания и условие задачи

При выполнении задания в разделе 9 выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки ML, где M- предпоследняя цифра, L- последняя цифра.

При выполнении задания в разделе 9 необходимо решить **пять** задач:

9.4.1 – **четыре** задачи в соответствии с таблицами вариантов 9.1, 9.2, тексты задач приведены в таблице 9.3.

Примеры решения задач даны в разделе 9.5.

9.4.2 – **одну** задачу, приведенную в разделе 9.4.2.

#### 9.4.1 Таблицы вариантов первых **четырёх** задач

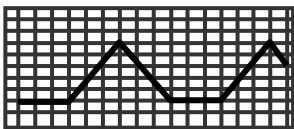
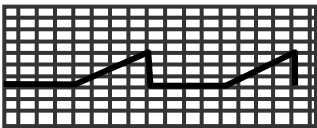
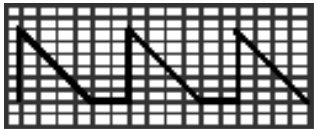
Таблица 9.1

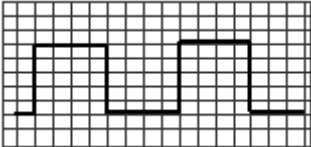

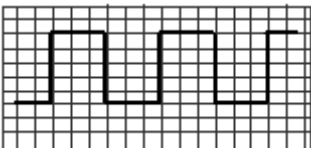
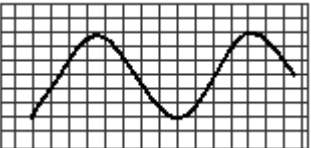


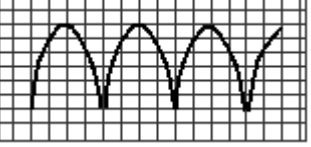

М	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	9.1	9.7	9.5	9.2	9.4	9.8	9.3	9.5	9.6	9.9
	9.14	9.12	9.11	9.13	9.10	9.15	9.10	9.12	9.11	9.14

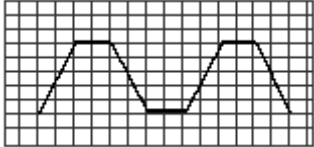
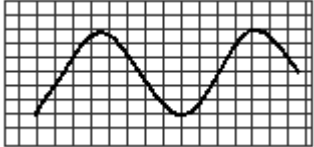


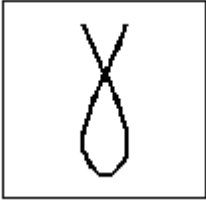
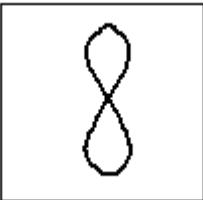

Таблица 9.2

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	9.19	9.21	9.16	9.23	9.20	9.17	9.24	9.25	9.18	9.22
	9.28	9.30	9.29	9.28	9.26	9.30	9.20	9.19	9.27	9.16



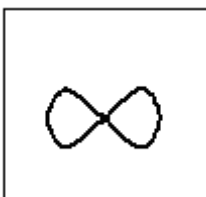
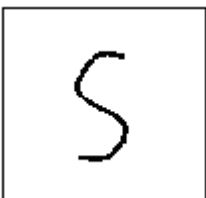
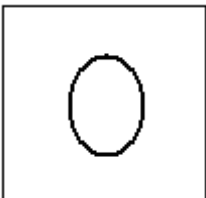

Таблица 9.3


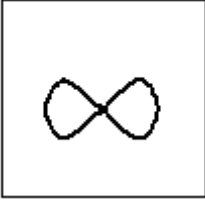
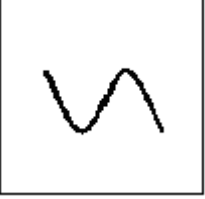


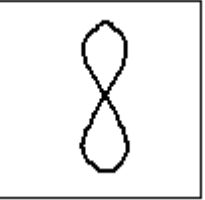
Задача	Исходные данные
9.1 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 2 мс/дел и 5 В/дел	
9.2 Определить амплитуду и частоту сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 10 мкс/дел и 2 В/дел	
9.3 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 0,2 В/дел	

<p>9.4 Определить амплитуду и период однополярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 5 В/дел</p>	
<p>9.5 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 1 В/дел</p>	
<p>9.6 Определить амплитуду и период двухполярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 2 В/дел</p>	
<p>9.7 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 2 В/дел</p>	
<p>9.8 Определить амплитуду и частоту сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,5 мс/дел и 0,5 В/дел</p>	
<p>9.9 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мкс/дел и 10 В/дел</p>	
<p>9.10 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 5 В/дел</p>	
<p>9.11 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 20 мкс/дел и 2 В/дел</p>	

<p>9.12 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел</p>	
<p>9.13 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 2 мс/дел и 8 В/дел</p>	
<p>9.14 Определить амплитуду и период двухполярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел</p>	
<p>9.15 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел</p>	
<p>9.16 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 600 Гц</p>	
<p>9.17 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 800 Гц</p>	
<p>9.18 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1000 Гц</p>	



<p>9.19 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 500 Гц</p>	
<p>9.20 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 900 Гц</p>	
<p>9.21 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1600 Гц</p>	
<p>9.22 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1500 Гц</p>	
<p>9.23 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 200 Гц</p>	
<p>9.24 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 400 Гц</p>	

<p>9.25 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1600 Гц</p>	
<p>9.26 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1400 Гц</p>	
<p>9.27 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 300 Гц</p>	
<p>9.28 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1800 Гц</p>	
<p>9.29 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 400 Гц</p>	
<p>9.30 Определить частоту сигнала на входе Y , если частота сигнала на входе X равна 1600 Гц</p>	

### 9.4.2 Задача

Построить графически осциллограммы, если известно, что к осциллографу с одинаковой чувствительностью к отклонению по вертикали и горизонтали приложены напряжения

а) при линейной развертке

к пластинам "Y"

$$U_p(t) = A \cdot U(\omega t + \varphi)$$

к пластинам "X"

$$U_p(t) = B \cdot U(t / T_p - 0,5),$$

$$T_p = k \cdot T_c$$

Временем обратного хода луча можно пренебречь. Значения A, B,  $\varphi$ , k берутся из таблиц 9.4 и 9.5.

Таблица 9.4

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	2	1	4	1	3	2	1	4	3	2
$\varphi, \text{гр}$	180	90	0	270	90	0	180	90	270	180

Таблица 9.5

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	6	4	8	3	6	4	6	8	6	4
K	1	0.5	2	1	2	1	2	1	2	0.5

б) при синусоидальной развертке к пластинам "Y"

$$U_n(t) = A \cdot U \sin(\omega t + \varphi)$$

к пластинам "X"

$$U_p(t) = B \cdot U \sin(j \omega t)$$

Исходные данные взять из таблиц 9.4, 9.5 и 9.6

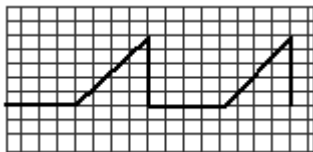
Таблица 9.6

L	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	1	2	4	3	1	3	2	1	2	3
j	2	3	1	2	4	1	3	3	1	2

## 9.5 Примеры решения задач

### Задача 1

Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 1 В/дел для осциллограммы



### *Решение*

Данная осциллограмма получена в первом основном режиме работы осциллографа - в режиме линейной развертки. Измерение частоты в этом режиме производится методом линейной калиброванной развертки.

Сигнал на осциллограмме является однополярным, поэтому амплитуда сигнала рассчитывается по формуле (9.6)

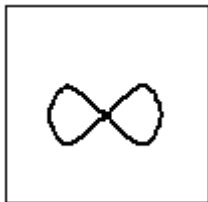
$$U_m = H_y \cdot m_y = 5 \text{ дел} \cdot 1 \text{ В/дел} = 5 \text{ В}$$

Измерение периода сигнала производится методом линейной калиброванной развертки, поэтому период сигнала рассчитывается по формуле (9.7)

$$T_c = \frac{H_x \cdot m_x}{n} = \frac{16 \cdot 0,2}{2} = 1,6 \text{ мс}$$

### **Задача 2**

Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 100 Гц для осциллограммы



## *Решение*

Данная осциллограмма в виде фигуры Лиссажу получена во втором режиме работы осциллографа - в режиме сравнения. Измерение частоты в этом режиме производится методом синусоидальной развертки.

По условию задачи напряжение измеряемой  $u_c(t)$  подается на вход Y, образцовой частоты  $u_{обр}(t)$  - вход X, что соответствует первому способу подачи напряжений (9.9). Тогда неизвестная частота  $f_c$  будет определяться соотношениями (9.12):

$$f_{обр} \cdot n_x = f_c \cdot n_y \quad f_c = f_{обр} \frac{n_x}{n_y} = 100 \cdot \frac{4}{2} = 200 \text{ Гц}$$

### **Задача 3**

Построить осциллограмму при линейной развертке для следующих исходных данных:

$$U_c(t) = 2U \cdot \sin(\omega t + 180^\circ)$$

$$U_p(t) = 6U(t/T_p - 1/2)$$

$$T_p = 2 \cdot T_c$$

## *Решение*

При построении осциллограмм выполняются следующие действия.

Поле чертежа разбивается на 4 квадранта. В первом изображается сигнал  $U_c(t)$ , поданный на пластины вертикального отклонения "Y", в третьем - сигнал  $U_p(t)$ , поданный на пластины горизонтального отклонения "X", во втором квадранте строится изображение, формируемое на экране осциллографа. При этом масштабы по осям времени и амплитуд в первом и третьем квадратах должны быть одинаковыми.

Решение задачи выполняется в следующей последовательности:

- 1) выбрать произвольно масштаб и построить напряжения развертки  $U_p(t)$ ;
- 2) построить  $U_c(t)$ , учитывая, что в том же масштабе должно уложиться 2 периода ( $K=2$ ) напряжения сигнала,
- 3) графически построить осциллограмму (рис 9.4)

Правило построения осциллограммы. Отложите на осях времени для  $U_p(t)$  и  $u_p(t)$  равные отрезки, разбейте их на одинаковое количество интервалов, и обозначьте их одинаковыми цифрами. Точки, обозначенные одинаковыми цифрами и соответствующие  $u_p$  и  $u_p$ , снесите пунктирными линиями до тех пор, пока они не пересекутся.

Точки пересечения обозначьте теми же цифрами. Изображение на экране осциллографа получится путем последовательного соединения точек пересечения.

Построение осциллограммы при синусоидальной развертке производится аналогично при условии, что на пластины X и Y подается система гармонических напряжений согласно варианту ML.

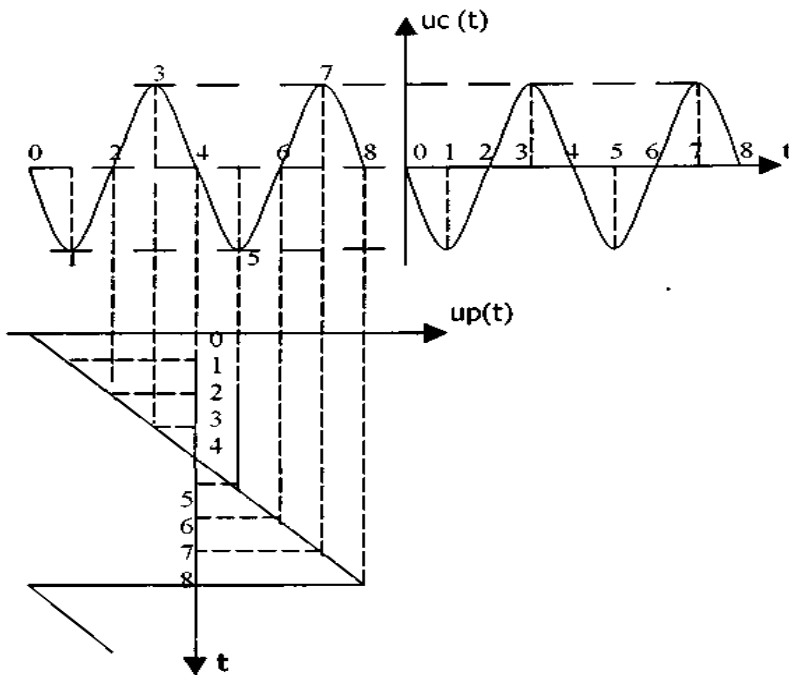


Рис. 9.4

## Список рекомендуемой литературы

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебное пособие/ С.И. Боридько, Н.В. Дементьев, Б.Н. Тихонов, И.А. Ходжаев.; Под ред. Б.Н. Тихонова – М.: Горячая линия - Телеком, 2007
2. Метрология и измерения в телекоммуникационных системах (Том 1): Учебник для вузов / Б.П. Хромой – М.: ИРИАС, 2007
3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2005
4. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001
5. Метрологическое обеспечение систем передачи, Учебное пособие для вузов/ Б.П. Хромой, В.С. Серебрин, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. проф. Б.П. Хромого – М.: Радио и связь, 1991-392с.
6. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи. Учебное пособие для вузов/ Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. проф. Б.П. Хромого – М.: Радио и связь, 1986-424с.
7. ГОСТ 8.009-84. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. РД50-453-84. Методический материал по применению ГОСТ 8.009-84. Издательство стандартов 1988г.
8. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12. 2002 года № 184 - ФЗ.
9. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. Учебное пособие для вузов. - М.: ЛОГОС, 2001-408с.
10. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2000-711с.
11. Мирский Г.Я. Электронные измерения. -М.: Радио и связь, 1986-440с.
12. Кушнир В.Д. Электроизмерения.- М.: Радио и связь, 1985-368с.
13. Кушнир В.Д. Электроизмерения.-Л.: Энергоатомиздат., 11983-320с.
14. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством.-М.: Издательство стандартов, 1990.

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

16. Дворяшин Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения. -М.: Радио и связь, 1992.Методы измерений в системах связи. И.Г. Бакланов. М., Радио и связь. ИТЦ «Эко-Тренз», 1999 г.

17. Технологии измерений в первичной сети. Части 1 и 2. И.Г. Бакланов. М., Радио и связь. ИТЦ «Эко-Тренз», 2000г

18. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация. Учебное пособие для вузов./ Сергеев А.Г. , Латышев М.В., Терегеря В.В. - М.: ЛОГОС, 2005- 196с.

19. [lsits@psati.ru](mailto:lsits@psati.ru)