

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

Д.Е. ПРАПОРЩИКОВ

**ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Контрольная работа по дисциплине  
«Метрология, стандартизация и сертификация»

Самара  
2020

## ВВЕДЕНИЕ

Данные контрольные задания предназначены для самостоятельной проработки студентами заочного отделения некоторых основополагающих разделов курса и для аудиторного выполнения их при проведении зачетного занятия по дисциплине "Метрология, стандартизация и сертификация". 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. В текстах задания приведены основные положения курса, необходимые для выполнения заданий, алгоритмы и примеры решения задач.

Для более детального освоения рассматриваемых вопросов необходимо изучить литературу из рекомендуемого списка и конспект лекций по "Метрологии, стандартизации и сертификации" ([www.psuti.ru](http://www.psuti.ru)).

Выбор варианта задач определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки  $mn$ , где  $m$  - предпоследняя цифра,  $n$  - последняя цифра. Номера задач индивидуального задания берутся из контрольных заданий в конце каждого раздела (таблицы 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2).

### **Разделы «Погрешности и математическая обработка результатов измерений», «Средства измерений и классы точности»**

#### **1.1. «Обработка результатов прямых однократных измерений»**

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

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1.1.)$$

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

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot 100\% \quad (1.2.)$$

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

Относительная погрешность в формуле (1.2) не всегда удобна для нормирования погрешности многопредельных СИ, поэтому специально для указания и нормирования погрешности СИ введена приведённая погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

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.

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,

$$\Delta = \pm a; \quad (1.4.)$$

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

$$\Delta = \pm (a + bx); \quad (1.5.)$$

— в виде уравнения

$$\Delta = f(x). \quad (1.6.)$$

При сложной зависимости (1.6.) допускается представлять погрешность в виде графика и таблицы. Пределы допускаемой относительной погрешности для случая (1.4.) в процентах выражают формулой

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% = \pm \frac{a}{X} \cdot 100\% = \pm q \quad (1.7)$$

для случая (1.5) – формулой

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \quad (1.8)$$

где  $X_k$  - предел измерений;

$$c = b + \frac{a}{X_k}$$

- имеет смысл приведенной погрешности в конце диапазона измерений (при  $X=X_K$ );

$d = a / X_K$  - имеет смысл приведенной погрешности в начале диапазона измерений (при  $X=0$ ), причем  $c > d$ .

Предел допускаемой приведенной погрешности в процентах выражается формулой

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\% = \pm p \quad (1.9)$$

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 (1.4.),  $X_N$  в (1.3.) 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  $\nabla_{1,5}$ . 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 (1.5.) равна нулю) и его определяют по (1.7.). 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 (1.8.). 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 1.1.

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 измерений»

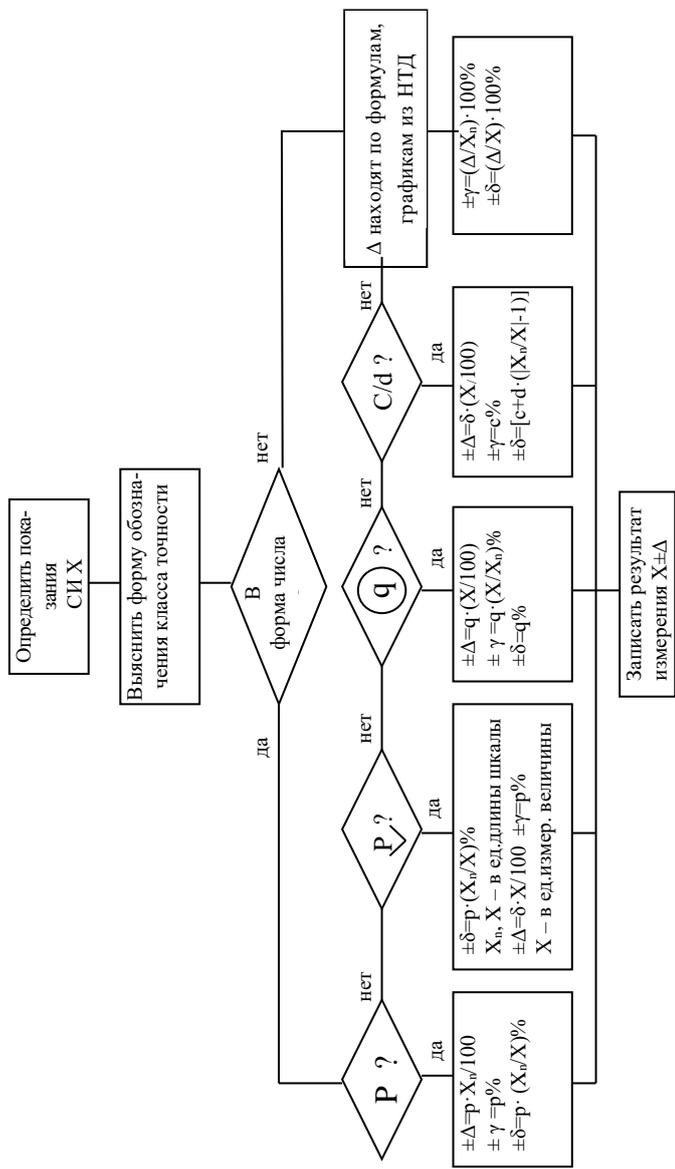


Рис. 1.1

## 1.2. «Обработка результатов прямых многократных равноточных измерений»

При однократных измерениях оценку погрешности производят на основе класса точности используемых средств измерений (раздел 1).

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

$$\Delta = \Delta_c + \Delta_s$$

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

$\bar{X}$  - 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 среднеквадратическое отклонение. Числовые вероятностные характеристики погрешностей, представляющие собой неслучайные величины, теоретически определяются при конечном числе опытов.

$$f(x) = (\sigma \cdot \sqrt{2\pi})^{-1} \cdot \left[ \exp - \left( \frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right) \right] \quad (1.10)$$

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)

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad (1.11)$$

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

$$\Delta_i = \bar{X}_i - \bar{X} \quad (1.12)$$

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

$$\sigma \cong \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (1.13)$$

В теории случайных погрешностей вводится также понятие о среднем квадратическом отклонении среднего арифметического  $\sigma_{\bar{x}}$  (среднеквадратическая погрешность результата измерений)

$$\sigma_{\bar{x}} \cong \pm \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N(N-1)}} \quad (1.14)$$

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

$$\Delta_{\text{макс}} = 3 \sigma \quad (1.15)$$

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

$$P\{(\bar{X} - \Delta) < A < (\bar{X} + \Delta)\} = \alpha \quad (1.16)$$

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

$$\Delta = \pm t_{\alpha}(N) \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (1.17)$$

где  $t_{\alpha}(N)$  - табулированный коэффициент распределения Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности  $\alpha$  и числа измерений  $N$  (табл.1.1).

Результат прямых многократных измерений величины  $X$  записывается в виде

$$X \pm \Delta; \alpha \quad (1.18)$$

При расчетах необходимо пользоваться правилами округления, изложенными в разделе 1.1.

## Коэффициенты Стьюдента $t_\alpha$ для заданных значений $\alpha$ , N

Таблица 1.1

$\alpha$ 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

<b>Задача</b>	<b>Исходные данные</b>
1.1. Определить приведённую погрешность и класс точности аналогового вольтметра с пределом 30В.	Максимальная абсолютная погрешность равна 1.08 В.
1.2. 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;
1.3. 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.
1.4. Определить максимальную абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра с пределом 10В.	Класс точности 1.5, отсчет напряжения 5В.
1.5. 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.
1.6. Определить максимальную абсолютную, относительную и приведённую погрешности аналогового вольтметра на пределе 10В.	Класс точности 2.5, отсчет напряжения 7.5 В.
1.7. Определить приведённую погрешность и класс точности аналогового вольтметра с пределом 10В.	Максимальная абсолютная погрешность равна 0.35В.
1.8. 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.
1.9. 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.
1.10. 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.

1.11. Определить максимальную абсолютную, относительную и приведенную погрешности аналогового вольтметра с пределом 30В.	Класс точности 2.5, отсчет напряжения 25 В.
1.12. Определить максимальные абсолютную и приведенную погрешности и класс точности аналогового вольтметра с пределом 1В.	Показания образцового вольтметра 0.3; 0.5; 0.8 В, поверяемого соответственно 0.297; 0.511; 0.819 В.
1.13. 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.
1.14. 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
1.15. 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.
1.16. 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
1.17. 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.
1.18. 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.
1.19. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности 0.15/0.03.	Отсчет на пределе «100V» равен 72.8 В.
1.20. 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.
1.21. 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.

1.22. 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.
1.23. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения постоянного напряжения цифровым вольтметром с классом точности $0.15/0.05$ .	Отсчет на пределе «100V» равен 36.5 В.
1.24. Определить абсолютную погрешность и сделать запись результата измерения активного сопротивления цифровым вольтметром с классом точности 0.3/0.1.	Отсчет на пределе «1000кΩ» равен 268 кОм
1.25. 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.
1.26. 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
1.27. 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
1.28. 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
1.29. Определить границы результата измерения напряжения 43,62 мВ при СКО погрешности однократного измерения 0,579 мВ	Число измерений равно 8, доверительная вероятность 0,99
1.30. Определить границы результата измерения сопротивления 27,48 МОм при СКО погрешности однократного измерения 0,79 мВ	Число измерений равно 4, доверительная вероятность 0,91

## 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 1В для показания 0,87 В.

### Решение

Для аналогового вольтметра с классом точности  $p = 1,5$  максимальная абсолютная погрешность равна (рис.1.1):

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

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.1.1):

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

Здесь  $X_K = 10 \text{ В}$  предел измерений;

$c/d = 0,1/0,05$  – класс точности;

$X = 7,93 \text{ В}$  – 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

$$7,930 \pm 0,009 \text{ В}$$

### Задача 3

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 (1.17):

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

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

При  $\alpha=0,93$  и  $N= 5$  в соответствии с табл.1.1 имеем значение  $t_{\alpha} = 2,456$ .

Средняя квадратическая погрешность результата измерений  $\sigma_{\bar{x}}$  равна (1.14)

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

Доверительный интервал результата измерения получается равным

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

Результат прямых многократных измерений напряжения записывается в виде (1.18)

$$37,86 \pm 0,15 \text{ В}; 0,93$$

Таблица 1.1

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	1.7	1.5	1.1	1.6	1.2	1.11	1.3	1.4	1.1	1.8
	1.20	1.24	1.19	1.17	1.15	1.22	1.18	1.16	1.21	1.23

Таблица 1.2

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	1.29	1.27	1.30	1.28	1.26	1.30	1.29	1.28	1.25	1.27

## 2. Раздел «Измерение тока и напряжения»

Для характеристики переменного напряжения используют следующие параметры:

- среднее значение (постоянная составляющая)  $U_0$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} S_{u(t)} \quad (2.1)$$

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

- средневывпрямленное значение  $U_{св}$

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (2.2)$$

- среднеквадратическое (действующее, эффективное) значение

$$U_0 = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (2.3)$$

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

$$u(t) = U_0 + \sum_{i=1}^N U_{m_i} \cdot \sin(i\omega t + \varphi_i) \quad (2.4)$$

Среднеквадратическое значение напряжения получается равным

$$U_{ск} \approx \sqrt{U_0^2 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{U_{m_i}}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (2.5)$$

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:

$$K_\phi = U_{ск}/U_{св} \quad (2.6)$$

$$K_A = U_m/U_{ск} \quad (2.7)$$

$$K_y = K_\phi K_A = U_m/U_{св} \quad (2.8)$$

Для того, чтобы рассчитать эти коэффициенты, необходимо:

— записать математическую модель исследуемого напряжения  $u(t)$ ;

— вычислить  $U_{св}$  по (2.2) и  $U_{ск}$  по (2.3) или (2.5);

— подставить полученные значения в выражения (2.6) ... (2.8).

Для определения 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 (2.1) среднее значение сигнала  $U_0$  и записать

$$u'(t) = u(t) - U_0 \quad (2.9)$$

— вычислить напряжение, на которое откликается вольтметр  $U_{отк}$ ;

— найти показание вольтметра  $U$  на основании  $U_{отк}$  и коэффициента градуировки  $C$

$$U = C \cdot U_{отк} \quad (2.10)$$

Значение  $U_{отк}$  и  $C$  для различных типов аналоговых вольтметров можно определить по таблице 2.1.

Структурные схемы аналоговых вольтметров, указанных в таблице 2.1, 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.2.1.



Рисунок 2.1

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 средневыпрямленных значений приведена на рис. 2.2.



Рисунок 2.2

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. 2.3.



Рисунок. 2.3

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 измеряемого сигнала. Структурная схема универсального вольтметра приведена на рис. 2.4.



Рисунок 2.4

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

Таблица 2.1

Тип вольтметра	Магнитоэлектр М/Э	Электромагн. Э/М	Электродин Э/Д	Электростат. Э/С	Термоэлектр. Т/Э	Выпрямит. В1 В2	Средне-кв. знач. С/К	Средне-выпрям. знач. С/В	Имп. пульс. И/В	Универсальный У/В
Тип преобразователя	—	—	—	—	Средне-кв. знач.	Средне-выпрям. знач.	Средне-кв. знач.	Средне-выпрям. знач.	Макс. значение	Макс. значение
Значение напряжения, на которое отсчитывается вольтметр, $U$	$U_0$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{св}$	$U_{ск}$	$U_{св}$	$U_m$	$U_m$
Значение напряжения, в котором отградуирован вольтметр, $U_{град}$	$U_0$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск}$	$U_{ск1}$	$U_{ск}$	$U_m$	$U_{ск}$
Значение коэффициента градуировки, $C$	1	1	1	1	1	2.22 – В/2 1.11 – В/1		1.11	1	0.71

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

Задача	Исходные данные			
2.1 Составьте структурную схему вольтметра средневыпрямленных значений	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил
	5. 2х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
2.2 Составьте структурную схему вольтметра среднеквадратических значений	1. Входное устройство	2. Усил-ль пер. тока	3. Усил-ль пост. тока	4. Видео усил
	5. 2х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнитоэл прибор
2.3 Составьте структурную схему импульсного вольтметра	1. Входное устройство	2. Усил-ль перем. напряж.	3. Усил-ль постоян. тока	4. Резонанс усилит
	5. 2х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детектор	8. Магнито-эл прибор
2.4 Составьте структурную схему универсального вольтметра для измерения постоянного напряжения	1. Входное устройство	2. Усил-ль перем. напряж.	3. Усил-ль постоян. тока	4. 1 полупериод выпр
	5. 2х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детек-	8. Магнитоэл прибор
2.5 Составьте структурную схему универсального вольтметра для измерения постоянного напряжения	1. Входное устройство	2. Усил-ль перем. напряж.	3. Усил-ль постоян. тока	4. 1 полупериод выпр
	5. 2х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детек-	8. Магнитоэл прибор
2.6 Составьте структурную схему универсального вольтметра	1. Входное устройство	2. Усил-ль перем. напряж.	3. Усил-ль постоян. тока	4. 1 полупериод выпр
	5. 2х полуп выпр	6. Квадр детек	7. Ампл. детек-	8. Магнитоэл прибор

Задача	Исходные данные
2.7 Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 5 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.8 Определить показание импульсного вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 5 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.9 Определить показание универсального вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 6 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.10 Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 6 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.11 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 2 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.12 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 2 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.13 Определить показание магнитоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 21 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.14 Определить показание электродинамического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 11 + 17 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.15 Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 16 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.16 Определить показание термоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 15 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.17 Определить показание магнитоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 13 + 12 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.18 Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 15 + 7 \sin(\omega t + \varphi_1)$
2.19 Определить показание импульсного вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 5 + 17 \sin(\omega t + \varphi_1)$

2.20 Определить показание универсального вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 19 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.21 Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 9 + 16\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.22 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 4 + 12\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.23 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 14 + 21\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.24 Определить показание электродинамического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 18 + 7\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.25 Определить показание электростатического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 11 + 9\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.26 Определить показание термоэлектрического вольтметра при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 19 + 3\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.27 Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 12 + 6\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.28 Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 3 + 26\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.29 Определить показание вольтметра среднеквадратических значений с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 14 + 9\sin(\omega t + \varphi_1)$
2.30 Определить показание универсального вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения.	$u(t) = 15 + 8\sin(\omega t + \varphi_1)$

## Примеры решения задач

### Задача 1

Определить показание импульсного вольтметра с закрытым входом при подаче на его вход переменного напряжения  $u(t) = 8 + 4\sin(\omega t + \varphi_1)$

### Решение

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

Как видно из таблицы 2.1, импульсный вольтметр откликается на максимальное значение измеряемого переменного напряжения (без постоянной составляющей)  $U_{\text{отк}}=U_m$  и градуируется в этих же значениях, т.е. коэффициент градуировки равен  $C=1$ .

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

Показание импульсного вольтметра с закрытым входом  $U$  равно

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

### Задача 2

Определить показание универсального вольтметра с открытым входом при подаче на его вход переменного напряжения  $u(t) = 8 + 4\sin(\omega t + \varphi_1)$

### Решение

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

Как видно из таблицы 2.1, 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  $U_{\text{отк}}= U_0 + U_m = 8 + 4 = 12$  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 2.1, электростатический вольтметр откликается на среднеквадратическое значение  $U_{отк}=U_{ск}$  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  $U_{отк}=U_{ск}$ .

Определяем среднеквадратическое значение напряжения  $U_{ск}$

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

Показание электростатического вольтметра  $U$  равно

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

Таблица 2.1

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	2.2	2.6	2.1	2.4	2.3	2.5	2.1	2.4	2.6	2.2

Таблица 2.2

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	2.7	2.9	2.16	2.12	2.15	2.11	2.13	2.10	2.14	2.8
	2.20	2.24	2.19	2.17	2.25	2.22	2.18	2.26	2.21	2.23

:

### 3. Раздел «Осциллографические методы измерения параметров сигналов»

#### 3.1. 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  $u_{ГР}(t)$ .

$$\begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{ГР}(t) \end{cases} \quad (3.1)$$

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. 3.1.

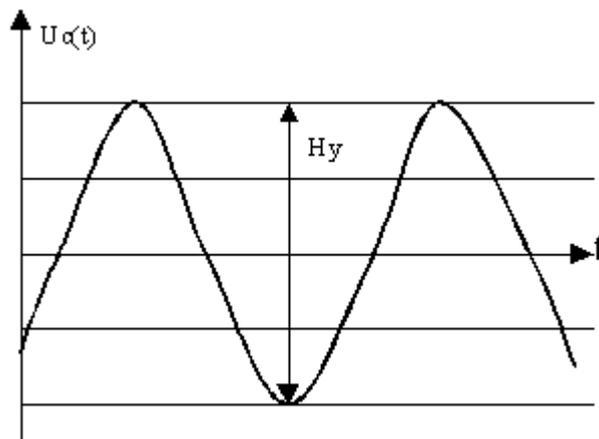


Рисунок 3.1

При симметричном двухполярном сигнале его амплитуда определяется из соотношения

$$U_m = \frac{H_y \cdot m_y}{2} \quad (3.2)$$

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

$$U_m = H_y \cdot m_y \quad (3.3)$$

#### 3.2. Измерение частоты

##### 3.2.1. 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  $u_{ГР}(t)$  – (3.1).

Пример осциллограммы для синусоидального сигнала приведен на рис. 3.2.

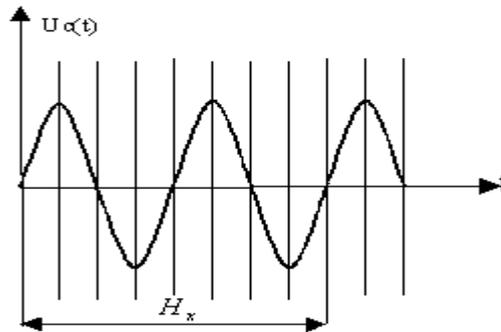


Рисунок 3.2

Период и частота исследуемого сигнала определяются из соотношений

$$T_c = \frac{H_x \cdot m_x}{n} \quad (3.4)$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{n}{H_x \cdot m_x} \quad (3.5)$$

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)  $\left[ \frac{\text{Время}}{\text{дел}} \right]$ .

### 3.2.2. 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:

$$1) \begin{cases} u_y(t) = u_c(t) \\ u_x(t) = u_{\text{обр}}(t) \end{cases} \quad 2) \begin{cases} u_y(t) = u_{\text{обр}}(t) \\ u_x(t) = u_c(t) \end{cases} \quad (3.6)$$

На экране наблюдается фигура Лиссажу, вид которой зависит от частотных и фазовых соотношений поданных сигналов. Пример фигуры Лиссажу приведен на рисунке 3.3.

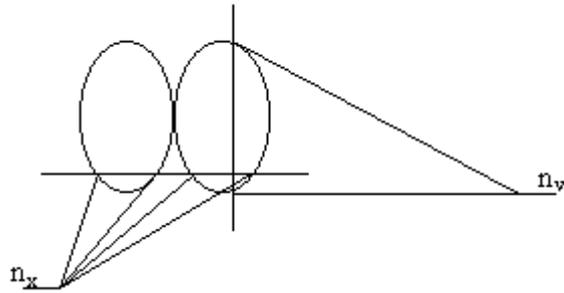


Рисунок 3.3

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. 3.3).

В этом случае выполняется соотношение

$$f_x \cdot n_x = f_y \cdot n_y \quad (3.7)$$

Частота напряжения, подаваемого на вход Y осциллографа, определяется из соотношения (3.7)

$$f_y = f_x \frac{n_x}{n_y} \quad \dots\dots \quad (3.8)$$

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

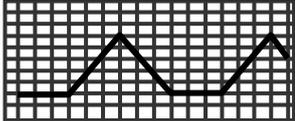
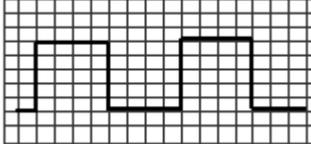
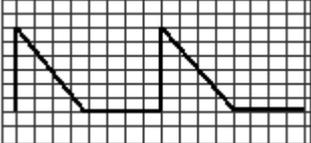
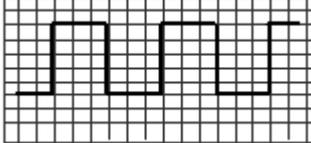
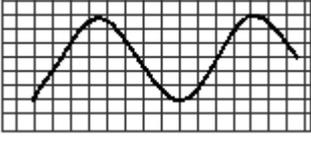
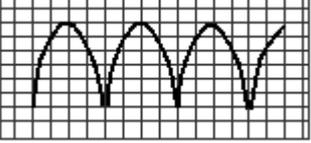
В зависимости от способа подачи (3.6) напряжений измеряемой  $u_c(t)$  и образцовой частот  $u_{обр}(t)$  неизвестная частота  $f_c$  будет определяться соотношениями:

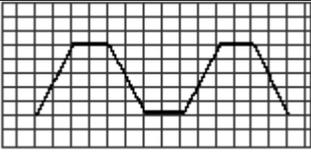
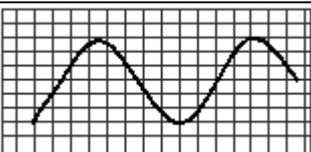
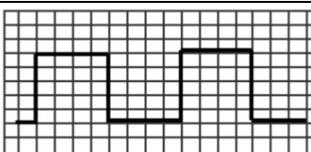
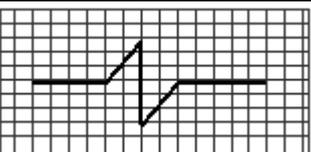
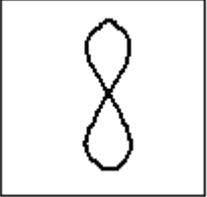
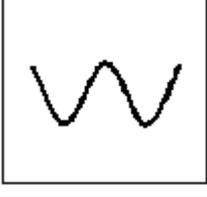
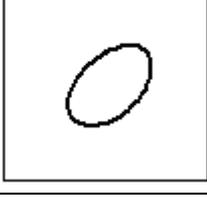
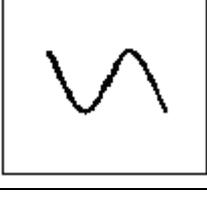
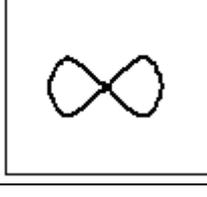
Первый способ

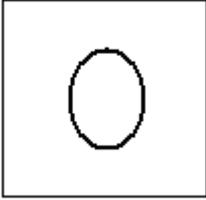
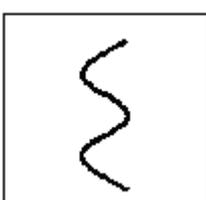
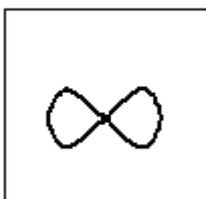
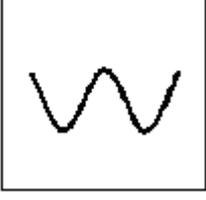
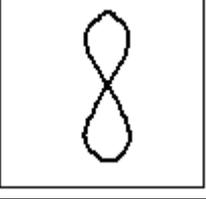
$$f_{обр} \cdot n_x = f_c \cdot n_y \quad f_c = f_{обр} \frac{n_x}{n_y} \quad (3.9)$$

Второй способ

$$f_{обр} \cdot n_y = f_c \cdot n_x \quad f_c = f_{обр} \frac{n_y}{n_x} \quad (3.10)$$

Задача	Исходные данные
3.1 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 2 мс/дел и 5 В/дел	
3.2 Определить амплитуду и частоту сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 10 мкс/дел и 2 В/дел	
3.3 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 0,2 В/дел	
3.4 Определить амплитуду и период однополярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 5 В/дел	
3.5 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,2 мс/дел и 1 В/дел	
3.6 Определить амплитуду и период двухполярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 2 В/дел	
3.7 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 2 В/дел	
3.8 Определить амплитуду и частоту сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 0,5 мс/дел и 0,5 В/дел	
3.9 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мкс/дел и 10 В/дел	
3.10 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 1 мс/дел и 5 В/дел	
3.11 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 20 мкс/дел и 2 В/дел	

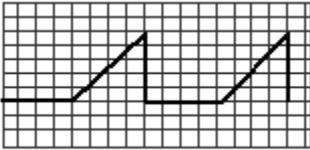
<p>3.12 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел</p>	
<p>3.13 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 2 мс/дел и 8 В/дел</p>	
<p>3.14 Определить амплитуду и период двухполярного сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел</p>	
<p>3.15 Определить амплитуду и период сигнала, если коэффициенты отклонения осциллографа равны 5 мс/дел и 10 В/дел</p>	
<p>3.16 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 600 Гц</p>	
<p>3.17 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 800 Гц</p>	
<p>3.18 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1000 Гц</p>	
<p>3.19 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 500 Гц</p>	
<p>3.20 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 900 Гц</p>	
<p>3.21 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1600 Гц</p>	

<p>3.22 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 1500 Гц</p>	
<p>3.23 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 200 Гц</p>	
<p>3.24 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 400 Гц</p>	
<p>3.25 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 1600 Гц</p>	
<p>3.26 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 1400 Гц</p>	
<p>3.27 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 300 Гц</p>	
<p>3.28 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 1800 Гц</p>	
<p>3.29 Определить частоту сигнала на входе X, если частота сигнала на входе Y равна 400 Гц</p>	
<p>3.30 Определить частоту сигнала на входе Y, если частота сигнала на входе X равна 1600 Гц</p>	

## 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 (3.3)

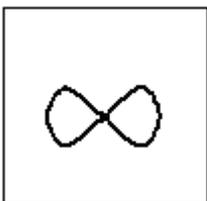
$$U_m = N_y \cdot m_y = 5 \text{ дел} \cdot 1 \text{ В/дел} = 5 \text{ В}$$

Измерение периода сигнала производится методом линейной калиброванной развертки, поэтому период сигнала рассчитывается по формуле (3.4)

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

### 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 (3.6). Тогда неизвестная частота  $f_c$  будет определяться соотношениями (3.9):

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

Таблица 3.1

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	3.1	3.7	3.5	3.2	3.4	3.8	3.3	3.5	3.6	3.9
	3.14	3.12	3.11	3.13	3.10	3.15	3.10	3.12	3.11	3.14

Таблица 3.2

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ задач	3.19	3.21	3.16	3.23	3.20	3.17	3.24	3.25	3.18	3.22
	3.28	3.30	3.29	3.28	3.26	3.30	3.20	3.19	3.27	3.16

## Список рекомендуемой литературы

а) основная:

1. 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
2. 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
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. [www.psuti.ru](http://www.psuti.ru)

б) дополнительная:

1. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. Учебное пособие для вузов. - М.: ЛОГОС, 2001-408с.
2. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ - ДАНА, 2000-711с.
3. Мирский Г.Я. Электронные измерения. -М.: Радио и связь, 1986- 440с.
4. Кушнир В.Д. Электроизмерения.- М.: Радио и связь, 1985-368с.
5. Кушнир В.Д. Электроизмерения.-Л.: Энергоатомиздат., 1983-320с.
6. Методы измерений в системах связи. И.Г. Бакланов. М.;; Радио и связь. ИТЦ «Эко-Тренз», 1999 г.
7. Технологии измерений в первичной сети. Части 1 и 2. И.Г. Бакланов. М.;; Радио и связь. ИТЦ «Эко-Тренз», 2000г.