

3. ПОРЯДОК ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Перед выполнением индивидуального задания рекомендуется изучить соответствующий теоретический материал.

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

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

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

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

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

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

Результат должен быть представлен:

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

4. ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

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

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

Способы представления характеристики погрешности.

С указанием абсолютной погрешности:

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

Например, результат измерения

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

читается следующим образом:

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

С указанием относительной погрешности:

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

Например,

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

Результат измерения читается аналогично предыдущему варианту.

С указанием доверительного интервала:

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

Результат измерения читается следующим образом:

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

$$\begin{array}{c} \overbrace{\hspace{1.5cm}}^{-\Delta l} \quad \overbrace{\hspace{1.5cm}}^{+\Delta h} \\ A_{\text{min}} \quad A_{\text{изм}} \quad A_{\text{max}} \end{array}$$

Или

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

Результат читается:

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

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

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

Например,

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

5. ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание 1

1.1 Дайте письменный ответ на следующие теоретические вопросы по темам «Классификация погрешностей измерений. Оценка случайных погрешностей прямых измерений»:

- 1.1.1 определение погрешности измерений;
- 1.1.2 классификация погрешностей (с кратким пояснением) по способу вычисления, причине возникновения, характеру проявления, условиям измерения;
- 1.1.3 определение случайной составляющей погрешности измерения;
- 1.1.4 причины возникновения случайных погрешностей;
- 1.1.5 краткая характеристика и особенности нормального закона распределения
- 1.1.6 случайных погрешностей (закона Гаусса);
- 1.1.7 понятие среднеквадратичного отклонения (СКО) результатов наблюдений σ ;
- 1.1.8 понятие среднеквадратичного отклонения (СКО) результата измерения σ_A ;
- 1.1.9 понятие доверительной вероятности и доверительного интервала.

1.2 Задача.

В процессе исследований выполнялось измерение частоты электрического сигнала. С целью уменьшения влияния случайной составляющей погрешности на результат проведена серия многократных равнооточных измерений.

В результате измерений получено N значений частоты сигнала F_i . Считая, что случайная погрешность имеет нормальный закон распределения, определите:

- наиболее достоверное значение частоты F ;
- среднюю квадратичную погрешность однократных наблюдений σ ;
- максимально допустимую погрешность измерения Δ_{\max} ;
- среднюю квадратичную погрешность результата измерения $\overline{\sigma}_F$;
- допустимую погрешность результата измерения $\Delta_{\text{доп}}$ при заданной доверительной вероятности $p_N(t)$;
- систематическую составляющую погрешности измерительного прибора Δ_s , если известно показание более высокоточного прибора F_d .

Результат измерения запишите в соответствии с требованиями МИ 1317-86.

Исходные данные для решения задачи определяются из таблиц 1.1; 1.2; и 1.3.

Численные значения всех результатов наблюдений F_i (шестьдесят значений) заданы в таблице 1.3.

В соответствии с заданием для оценки допустимой погрешности используется только часть результатов.

Номера, используемых для расчетов результатов, определите по таблицам 1.1 и 1.2 в соответствии с вариантом «m,n». (Вариант соответствует последним цифрам номера студенческого билета «m,n»).

Буквой «i» обозначены номера результатов измерений F_i , которые необходимо выписать их таблицы 1.3 и учесть при обработке результата измерения.

Таблица 1.1 – Номера используемых результатов в соответствии с вариантом «m»

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	7-13	11-16	21-28	5-10	27-32	13-20	31-39	1-9	33-40	30-36
$F_{дв}$ кГц	27,54	27,90	27,15	27,90	27,17	27,84	27,28	27,81	27,23	27,54

Таблица 1.2– Номера используемых результатов в соответствии с вариантом «n»

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
i	41-47	57-60	44-48	54-60	45-50	47-51	48-54	52-56	47-50	55-60
$p_N(t)$	0,92	0,96	0,88	0,94	0,97	0,9	0,98	0,9	0,99	0,93

Таблица 1.3 – Результаты наблюдений значение F_i

i	F_i кГц	i	F_i кГц	i	F_i кГц	i	F_i кГц	i	F_i кГц
1	27,23	13	28,01	25	26,99	37	27,51	49	27,93
2	27,28	14	27,88	26	27,06	38	27,56	50	28,00
3	27,35	15	27,71	27	26,93	39	27,58	51	28,08
4	27,40	16	27,95	28	27,09	40	27,61	52	28,16
5	27,17	17	27,82	29	27,18	41	27,52	53	27,38
6	27,08	18	27,78	30	27,25	42	27,47	54	27,49
7	27,18	19	27,90	31	27,36	43	27,56	55	27,35
8	27,01	20	27,69	32	27,42	44	27,62	56	27,38
9	27,60	21	27,63	33	27,30	45	27,66	57	27,43
10	27,65	22	27,81	34	27,15	46	27,52	58	27,56
11	27,66	23	27,79	35	27,12	47	27,65	59	27,46
12	27,82	24	27,86	36	27,17	48	27,70	60	27,48

Результаты промежуточных расчетов заносятся в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Численные значения результатов наблюдений и их обработки

№	«i» (номера результатов наблюдений)	Значения F_i кГц	$\Delta i = (F_i - F)$ кГц с точностью 0,000001	$\Delta i^2 = (F_i - F)^2$ кГц ² с точностью 0,000001
1				
2				
3				
4				
⋮				
⋮				
⋮				
N=		$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^N F_i}{N}$ с точностью 0,000001	$\frac{\sum_{i=1}^N \Delta i}{N} =$ с точностью 0,000001	$\sum_{i=1}^N \Delta i^2 =$ с точностью 0,000001

Методические указания по выполнению задания 1

Для выполнения задания 1.1 изучите теоретический материал по литературе [1] стр. 48-76 и [2] стр. 22-46.

Для решения задачи 1.2 изучите методику оценки случайной составляющей погрешности многократных измерений, которая приведена в [1] стр. 66-73 и [2] стр. 43-46.

Используемые значения результатов наблюдений и промежуточных результатов расчетов необходимо оформить в виде таблицы 1.4. Для упрощения арифметических расчетов таблицу можно выполнить на ПК и вклеить в работу.

Первоначально необходимо определить максимально допустимый интервал значений случайной составляющей погрешности Δ_{max} , который определяется с доверительной вероятностью 99,7%. Сформулируйте результат измерения.

В связи с тем, что количество наблюдений N в данном задании относительно невелико, доверительный интервал результата измерения необходимо уточнить в соответствии с интегральным законом распределения Стьюдента.

Для заданного значения доверительной вероятности $p_N(t)$ (таблица 1.2) и в соответствии с количеством используемых результатов наблюдений N по таблице 1.5 определите коэффициент распределения Стьюдента t_N . С учетом значения t_N рассчитайте допустимое значение случайной погрешности $\Delta_{доп}$.

Сформулируйте результат измерения с вероятностью $p_N(t)$

С целью избежания накопления погрешности вычислений промежуточные расчеты выполняются с использованием большого числа значащих цифр, в данном случае с точностью 0,000001. Конечный результат обработки записывается с точностью 0,01.

Таблица 1.5 – Значение коэффициента Стьюдента t_N

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

Результат измерения запишите в соответствии с требованиями МИ 1317-86.

Систематическая погрешность измерения определяется как отклонение результата измерения от действительного значения измеряемой величины

$$\Delta_c = \bar{F} - F_d$$

Задание 2

2.1 Дайте письменный ответ на теоретические вопросы по теме «Погрешности косвенных измерений»:

- 2.1.1 понятие косвенных измерений;
- 2.1.2 причины возникновения погрешности при косвенных измерениях;
- 2.1.3 порядок расчета частных погрешностей косвенных измерений;
- 2.1.4 порядок расчета погрешности косвенных измерений.

2.2 Задача.

По результатам прямых измерений E_r , R_r и R_n косвенным методом определялись значения напряжения и мощности, выделяемой на нагрузку генератора низких частот (рисунок 1). Одновременно оценивались значения полной мощности, развиваемой генератором и потери мощности на его внутреннем сопротивлении.

В зависимости от индивидуального задания рассчитайте одну из указанных мощностей (P_n , P_r или P_Σ) и падение напряжения (U_n или U_r). Оцените абсолютную и относительную погрешности измерения заданных мощности и напряжения, если известны результаты прямых измерений E_r , R_r и R_n и их относительные погрешности $\delta_{E_r}\%$, $\delta_{R_r}\%$, $\delta_{R_n}\%$.

Данные для решения задачи приведены в таблицах 2.1 и 2.2 в соответствии с вариантом «пп».

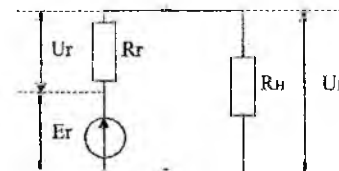


Рисунок 1 - Схема измерения напряжения и мощности

Таблица 2.1 – Исходные данные по вариантам

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_r, В$	6,3	5,2	7,0	9,1	4,5	10,5	15	14,3	18,0	12,6
$R_r, Ом$	50	150	135	75	75	240	600	135	600	240
$\pm\delta_{R_n}, \%$	3,2	3,6	1,3	4,8	4,3	2,4	2,7	5,8	5,1	1,6

Таблица 2.2 – Исходные данные по вариантам

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_n, Ом$	200	470	100	180	330	510	820	680	750	1100
$\pm\delta_{E_r}, \%$	2,5	4,2	4,5	3,8	5,1	1,2	3,5	1,8	1,5	2,1
$\pm\delta_{R_r}, \%$	3,0	3,3	5,4	2,9	4,7	1,8	2,2	3,6	2,7	5,4
$P_x, мВт$	P_Σ	P_r	P_n	P_Σ	P_r	P_r	P_n	P_n	P_n	P_Σ
$U_x, В$	U_r	U_r	U_n	U_n	U_r	U_r	U_n	U_n	U_n	U_r

Методические указания по выполнению задания 2

Измерение мощности и напряжения в данном случае является косвенным, так как значения P и U определяются путем расчетов по результатам прямых измерений вспомогательных параметров E_r , R_r и R_n .

Теоретический материал по данной теме изучите по литературе [1] стр. 79-84 и [2] стр. 50-53.

Для выполнения задания 2.2 в соответствии с вариантом задания необходимо вывести формулы:

- расчета измеряемой мощности, относительной и абсолютной погрешности измерений мощности;
- расчета измеряемого напряжения, относительной и абсолютной погрешности измерений напряжения.

В данной задаче косвенным методом определялись значения мощности $P=f(E_r, R_r, R_n)$ и напряжения $U=f(E_r, R_r, R_n)$.

Для функции $F(x, y, z)$ относительная погрешность измерений определяется выражением:

$$\delta F\% = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x} \times \frac{\Delta x}{F}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \times \frac{\Delta y}{F}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z} \times \frac{\Delta z}{F}\right)^2} \times 100\%$$

В качестве примера рассмотрим порядок оценки погрешности измерения P_r .

Функцию P_r необходимо выразить через вспомогательные параметры E_r , R_r и R_n :

$$P_r = \frac{E_r^2 \times R_r}{(R_r + R_n)}$$

Согласно теории косвенных измерений относительная погрешность измерения мощности определяется выражением:

$$\delta P_r\% = \sqrt{\left(\frac{\partial P_r}{\partial E_r} \times \frac{\Delta E_r}{P_r}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_r}{\partial R_r} \times \frac{\Delta R_r}{P_r}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_r}{\partial R_n} \times \frac{\Delta R_n}{P_r}\right)^2} \times 100\%$$

Значения

$$\left(\frac{\partial P_r}{\partial E_r} \times \frac{\Delta E_r}{P_r}\right); \left(\frac{\partial P_r}{\partial R_r} \times \frac{\Delta R_r}{P_r}\right) \text{ и } \left(\frac{\partial P_r}{\partial R_n} \times \frac{\Delta R_n}{P_r}\right)$$

называются *частными погрешностями измерения мощности*, теряемой на внутреннем сопротивлении генератора, вызванной неточностью измерения вспомогательных параметров E_r , R_r и R_n .

Результирующая погрешность измерения мощности определяется как среднеквадратичная величина частных погрешностей измерения вспомогательных параметров.

Частные производные функции P_r по величине E_r , R_r и R_n

$$\frac{\partial P_r}{\partial E_r}; \frac{\partial P_r}{\partial R_r} \text{ и } \frac{\partial P_r}{\partial R_n}$$

называются *коэффициентами влияния* погрешности измерения соответствующих вспомогательных параметров на погрешность измерения мощности.

Для уменьшения погрешности вычислений и упрощения расчетов все необходимые преобразования выражения $\delta P\%$ необходимо **ВЫПОЛНИТЬ В БУКВЕННОМ ВИДЕ** и, лишь максимально упростив выражение, произвести расчеты. Промежуточные расчеты частных производных, абсолютных погрешностей и значения измеряемой мощности не выполняются.

Выразите частные производные функции $P_r(E_r, R_r, R_n)$ в буквенном виде.

Например, частная производная мощности P_r по величине E_r выражается следующим образом:

- параметры R_r и $R_n = \text{Const}$,
- при этом

$$\frac{\partial P_r}{\partial E_r} = \frac{\partial \left(\frac{E_r^2 \times R_r}{(R_r + R_n)} \right)}{\partial E_r} = \frac{2E_r \times R_r}{(R_r + R_n)}$$

ΔE_r , ΔR_r , ΔR_n - абсолютные погрешности прямых измерений вспомогательных параметров - определяются через заданные относительные погрешности измерения.

По определению, относительная погрешность измерения рассчитывается, как отношение абсолютной погрешности измерения к измеряемому параметру, выраженное в процентах.

Соответственно, выводим формулы:

$$\Delta E_r = \frac{\delta E_r\% \times E_r}{100\%}; \Delta R_r = \frac{\delta R_r\% \times R_r}{100\%}; \Delta R_n = \frac{\delta R_n\% \times R_n}{100\%}$$

Все полученные буквенные выражения подставляем в формулу расчета погрешности $\delta P\%$:

$$\delta_r \% = \sqrt{\left(\frac{\partial P_r}{\partial E_r} \times \frac{\Delta E_r}{P_r}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_r}{\partial R_r} \times \frac{\Delta R_r}{P_r}\right)^2 + \left(\frac{\partial P_r}{\partial R_n} \times \frac{\Delta R_n}{P_r}\right)^2} \times 100\% =$$

$$= \sqrt{\frac{2E_r \times R_r \times \delta E_r \times E_r \times (R_r + R_n)^2}{(R_r + R_n)^2 \times 100\% \times E_r^2 \times R_r}} + \dots \times 100\%$$

Выражение упрощается, и только затем подставляются численные значения результатов измерения вспомогательных параметров.

Рассчитываем относительную погрешность измерения $\delta_r, \%$.

Абсолютная погрешность измерения мощности определяется из выражения:

$$\delta_r \% = \frac{\Delta P_r}{P_r} \times 100 \%, \quad \text{соответственно } \Delta P_r = \frac{\delta_r \% \times P_r}{100 \%}$$

Промежуточные расчеты выполняются с точностью 0,000001, конечный результат необходимо записать с точностью 0,01.

Если результаты расчетов, выраженные в основных единицах измерения, получаются меньше единицы, то напряжение должно быть выражено в милливольтгах, мощность – в милливаттах.

Результат измерения запишите в соответствии с требованиями МИ 1317-86.

Задание 3

3.1 Дайте письменный ответ на теоретические вопросы по теме «Аналоговые электронные вольтметры»:

3.1.1 определение и расчетные формулы основных параметров электрических периодических сигналов

- среднего;
- среднеквадратичного;
- средневыпрямленного напряжения;

3.1.2 назначение аналоговых вольтметров

- пикового;
- линейного;
- квадратичного;

3.1.3 функциональная схема аналогового вольтметра, назначение элементов схемы;

3.1.4 порядок расчета погрешности показаний вольтметра по метрологическим характеристикам.

3.2 Задача.

На выходе исследуемого устройства имеет место периодическое напряжение, форма которого показана на рисунке 2.

Рассчитайте:

3.2.1 значения параметров напряжения заданной формы

- U_0 - постоянная составляющая (среднее напряжение за период);
- $U_{ср.в.}$ – средневыпрямленное напряжение;
- U – среднеквадратическое (действующее) напряжение;

3.2.2 коэффициенты, характеризующие форму данного сигнала

- K_a - коэффициент амплитуды;
- K_f - коэффициент формы;
- K_u - коэффициент усреднения;

3.3.3 напряжения, которые должны показать

- пиковый вольтметр с закрытым входом ($U_{пик}$);
- линейный вольтметр с открытым входом ($U_{лино}$);
- квадратичный вольтметр с открытым входом ($U_{кво}$);

3.3.4 оцените погрешность показаний всех используемых вольтметров, если измерительные приборы имеют класс точности, заданный в виде допустимой приведенной погрешности.

Данные для решения задачи приведены в таблицах 3.1 и 3.2 в соответствии с вариантом «тп».

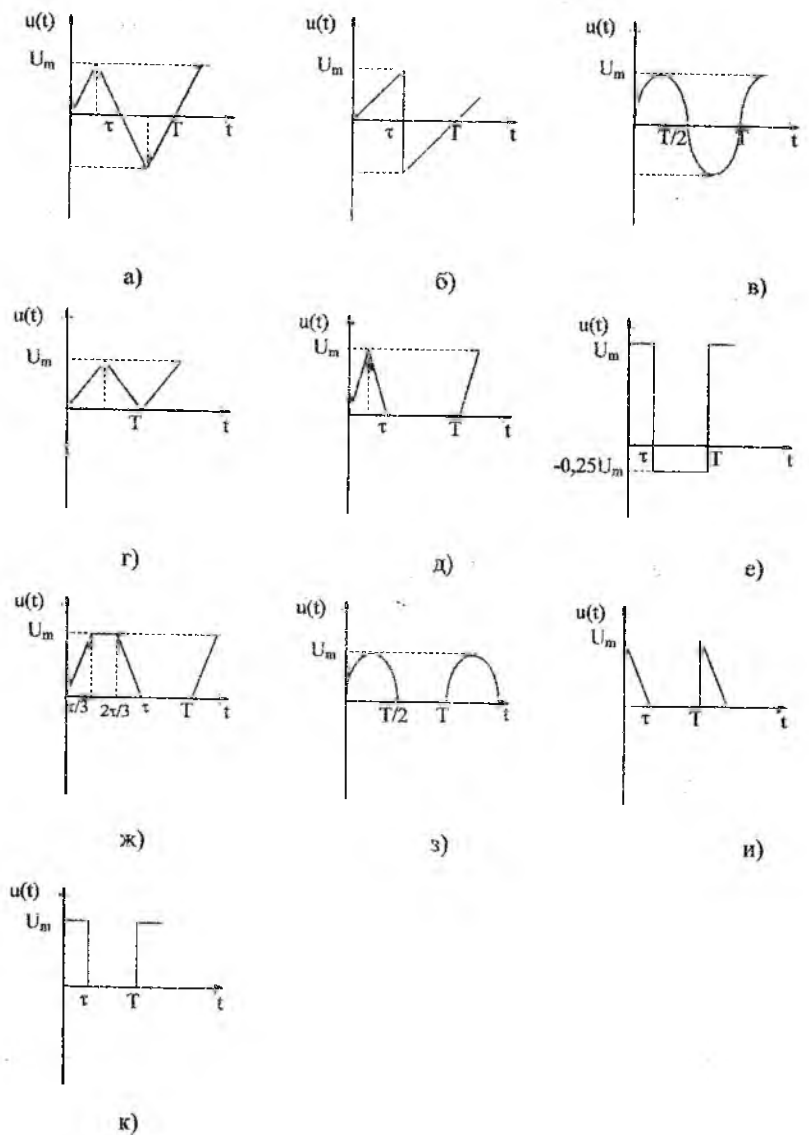


Рисунок 2 - Форма исследуемых сигналов

Таблица 3.1 – Исходные данные по вариантам

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T, мкс	12	80	30	10	10	50	120	90	90	75
τ, мкс	6	-	10	6	-	25	40	30	-	25
Класс точности K	0,5	1,5	0,05	0,1	4,0	2,5	1,0	1,5	4,0	2,5

Таблица 3.2 – Исходные данные по вариантам

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рис 2	б	в	д	ж	г	а	к	и	з	е
U _{ном} , В	1	3	0,1	0,03	5	10	15	3	30	1
U _{пр} , В	0,75	2,5	0,06	0,02	3	8	12	2	27	0,7

Методические указания по выполнению задания 3

Для выполнения задания 3.1 изучите теоретический материал по литературе [1] с.124-140 и [2] с.63-84.

Задание 3.2 выполняется в следующем порядке.

Для расчета параметров напряжения U₀, U_{ср} и U (п. 3.2.1) дайте математическое описание сигнала.

Например, напряжение u(t), представляющее собой периодическую последовательность однополярных прямоугольных импульсов (рис.2к), описывается следующим образом:

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

Параметры напряжения рассчитываются с использованием интегральных выражений:

Параметр периодического напряжения	Расчетная формула
среднее значение напряжения за период - U ₀	$U_0 = \int_0^T u(t) dt$
средневыпрямленное напряжение - U _{ср.в.}	$U_{ср.в.} = \int_0^T u(t) dt$
среднеквадратическое напряжение за период - U	$U = \sqrt{\int_0^T u^2(t) dt}$

Коэффициенты, характеризующие форму сигнала (п. 3.2.2), определяются следующим образом:

Параметр периодического сигнала	Расчетная формула
Коэффициент амплитуды	$K_a = \frac{U_m}{U}$
Коэффициент формы	$K_f = \frac{U}{U_{ср.в}}$
Коэффициент усреднения	$K_y = K_a \times K_f = \frac{U_m}{U_{ср.в}}$

Для самоконтроля при решении задачи необходимо иметь в виду, что $1 < K_f < K_a < K_y$.

Показания вольтметров (п. 3.2.3) рассчитываются с учетом открытого или закрытого входа ($U_{пв.з}$, $U_{лв.о}$, $U_{кв.о}$) и коэффициентов градуировки вольтметров:

Тип вольтметра	Показания вольтметра с открытым входом	Показания вольтметра с закрытым входом
Линейный вольтметр (ЛВ)	$U_{лв.о} = 1,11 \times U_{ср.в} = 1,11 \times \int_0^T u(t) dt$	$U_{лв.з} = 1,11 \times U_{ср.з} = 1,11 \times \int_0^T u(t) - U_0 dt$
Пиковый вольтметр (ПВ)	$U_{пв.о} = 0,707 \times U_{max}$	$U_{пв.з} = 0,707 \times (U_{max} - U_0)$
Квадратичный вольтметр (КВ)	$U_{кв.о} = \sqrt{\int_0^T u^2(t) dt}$	$U_{кв.з} = \sqrt{\int_0^T [u(t) - U_0]^2 dt}$

Коэффициенты градуировки аналоговых вольтметров вводятся в связи с особенностями их градуировки.

Правило градуировки аналоговых вольтметров:

- 1 для градуировки аналоговых вольтметров используется образцовый синусоидальный сигнал;
- 2 шкала всех вольтметров (ЛВ, ПВ, КВ) градуируется в действующих значениях синусоидального напряжения;
- 3 для определения измеряемого напряжения необходимо произвести перерасчет показания вольтметра в измеряемое значение.

Тип вольтметра	Коэффициент градуировки	Расчет измеряемого напряжения по показаниям вольтметра
Линейный вольтметр (ЛВ)	1,11	$U_{ср.в} = \frac{U_{лв.о}}{1,11}$
Пиковый вольтметр (ПВ)	0,707	$U_{max} = \frac{U_{пв.о}}{0,707}$
Квадратичный вольтметр (КВ)	1	$U = U_{кв.о}$

Погрешность показания вольтметров (п. 3.2.4) определяется по классу точности прибора.

Различают четыре способа расчета класса точности стрелочных приборов (см. литературу [6], тема 2.2).

Форма выражения класса точности	Условное обозначение	Расчетная формула
Максимально допустимая приведенная погрешность прибора	∇	$\nabla \geq \delta_{прив} \% = \frac{ \Delta_{max} }{A_{ном}} \times 100\%$
Максимально допустимая относительная погрешность прибора	\textcircled{K}	$\textcircled{K} = \delta_{изм} \% = \frac{ \Delta_{max} }{A_{изм}} \times 100\%$
Максимально допустимая относительная погрешность прибора	c/d	$\delta_{max} \% = \left[c + d \left(\frac{A_{ном}}{A_{изм}} - 1 \right) \right]$
Максимально допустимая абсолютная погрешность прибора	a, b	$\Delta_{max} = a + b \times A_{изм}$

Наиболее часто используется первые два способа расчета.

По заданному классу точности рассчитайте максимально допустимую абсолютную погрешность вольтметров Δ_{max} и соответственно максимально допустимую относительную погрешность измерения $\delta_{max} \%$ для каждого вольтметра:

$$\delta_{max \text{ изм}} \% = \frac{\Delta_{max}}{U_v} \times 100\%$$

Показания вольтметров запишите в соответствии с требованиями МИ 1317-86.

Задание 4

4.1 Дайте письменный ответ на теоретические вопросы по темам «Электронный осциллограф. Измерения частотно-временных параметров электрических сигналов»:

- 4.1.1 назначение электронного осциллографа;
- 4.1.2 функциональная схема ЭО, назначение элементов схемы;
- 4.1.3 принцип получения изображения в режиме линейной развертки;
- 4.1.4 порядок расчета погрешности измерения напряжения δ_v % и временного интервала δ_t % электронным осциллографом в режиме линейной развертки;
- 4.1.5 принцип получения изображения в режиме синусоидальной развертки;
- 4.1.6 порядок расчета погрешности измерения частоты электрического сигнала δ_f % электронным осциллографом в режиме синусоидальной развертки.

4.2 Задача.

На вход «У» осциллографа в режиме линейной развертки подается синусоидальное колебание частотой 50 кГц. Длительность прямого хода напряжения развертки $u_x(t)$ составляет 17,5 мкс, длительность обратного хода 2,5 мкс.

Графически продемонстрируйте принцип получения осциллограммы данного сигнала на экране. Поясните недостатки полученного изображения и их причину.

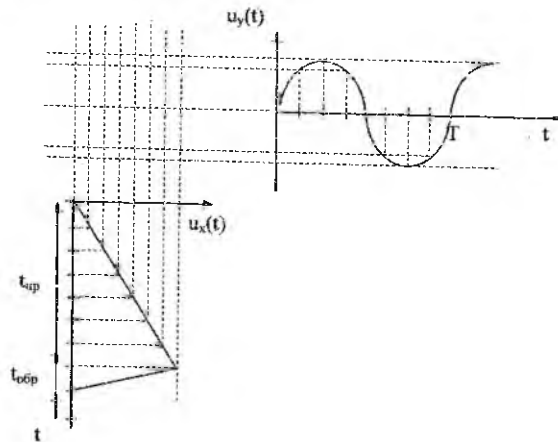


Рисунок 3 - Графическое построение изображения на экране ЭО

4.3 Задача.

На экране электронного осциллографа в режиме линейной развертки получено изображение периодического сигнала, приведенного на рисунке 4.

Рассчитайте частоту сигнала, оцените абсолютную и относительную погрешности измерения, для заданных значений коэффициента развертки K_p и погрешности $\delta_{вр}$ %.

Данные для решения задачи приведены в таблицах 4.1 4.2.

Таблица 4.1 – Исходные данные по вариантам

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_p , мс/дел	0,1	0,5	1,0	10	0,02	0,005	0,2	1,0	0,5	0,002

Таблица 4.2 – Исходные данные по вариантам

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\delta_{вр}$ %	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8

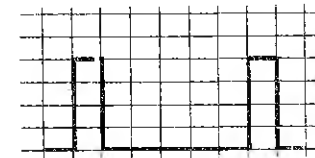


Рисунок 4 - Осциллограмма исследуемого сигнала

4.4 Задача.

Методом Лиссажу выполнялось измерение частоты синусоидального сигнала.

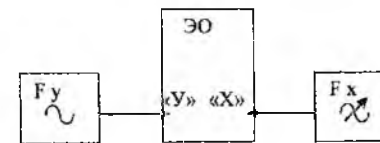


Рисунок 5 - Схема измерения частоты сигнала методом Лиссажу

На один из входов «У» или «Х» подается образцовый синусоидальный сигнал, на другой – измеряемый.

Определите частоту синусоидального сигнала, поданного на указанный вход электронного осциллографа, если при известной частоте образцового генератора получено соответствующее изображение.

Рассчитайте погрешность измерения частоты, если задана относительная погрешность установки образцовой частоты $\delta_{\text{Гобр}}\%$.

Данные для решения задачи приведены в таблицах 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3 – Исходные данные по вариантам











m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фигура Лиссажу										
$\delta_{\text{Гобр}}\%$	2,5	1,8	3,0	2,0	1,5	2,8	3,2	1,0	1,5	2,0

Таблица 4.4 – Исходные данные по вариантам

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_y , кГц	25	?	40	?	60	?	120	?	300	?
F_x , кГц	?	30	?	70	?	90	?	400	?	500

Методические указания по выполнению задания 4

Функциональная схема электронного осциллографа и принцип получения изображения на экране в режиме линейной развертки приводятся в литературе [1] стр. 175-196 и [2] стр. 89-92.

Для выполнения задания 4.2 рассчитайте период исследуемого сигнала и постройте графики напряжений, подаваемых на пластины «У» и «Х», как показано на рисунке 3, с указанием значений времени t на осях координат.

Для правильного получения осциллограммы графическое изображение исследуемого сигнала и сигнала развертки необходимо представить в одинаковом масштабе времени.

Положение луча на экране в определенный момент времени определяется как точка на пересечении проекционных линий, соответствующих величине напряжений $u_y(t)$ и $u_x(t)$ в данный момент.

Поясните причину искажения изображения исследуемого сигнала и способ уменьшения данных искажений.

При выполнении задания 4.3 период сигнала определите, используя масштабную сетку и численное значение масштаба времени - Кр.

Погрешность измерения интервалов времени в режиме линейной развертки рассчитывается по формуле:

$$\delta_{\tau\%} = \sqrt{\delta_{\text{виз}}^2 + \delta_{\text{кр}}^2} \times 100\%, \quad \text{где}$$

$\delta_{\tau\%}$ - относительная погрешность измерения интервала времени T ;

$\delta_{\text{кр}}$ - относительная погрешность коэффициента развертки (погрешность масштаба времени), задается в паспорте прибора;

$\delta_{\text{виз}}$ - визуальная погрешность измерения отрезка, соответствующего интервалу времени T .

Визуальная погрешность измерения (погрешность определения размера отрезка) рассчитывается по формуле:

$$\delta_{\text{виз}\%} = \frac{0,4 \times b}{L}, \quad \text{где}$$

$b = 0,1$ дел (толщина луча),

L (дел) - размер отрезка, соответствующего интервалу T , выраженный в делениях масштабной сетки ЭО.

Частота сигнала в данном случае определяется путем расчета с использованием значения периода $F = \frac{1}{T}$.

Поскольку значение частоты определяется путем расчета, измерение является косвенным.

Погрешность измерения частоты определяется по методике косвенных измерений:

$$\delta_{\text{р}\%} = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial T} \times \frac{\Delta T}{F}\right)^2} \times 100\%$$

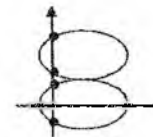
Преобразуйте данное выражение с учетом исходных данных задачи и рассчитайте погрешность измерения частоты сигнала.

Результат измерения запишите в соответствии с требованиями МИ 1317-86.

Для выполнения задания 4.4 изучите теоретический материал по теме, который приводится в литературе [1] стр. 194-197 и [2] стр. 92-94 и 114-115.

Для расчета измеряемой частоты необходимо воспользоваться правилом Лиссажу:

$$F_x \times X = F_y \times Y$$



где

F_x и F_y - частота сигналов, поданных на входы «Х» и «У»,

X и Y - количество пересечений фигуры Лиссажу с соответствующими осями.

Зная образцовую частоту (F_x или F_y), рассчитайте частоту измеряемого сигнала.

Так как необходимая частота определяется путем расчета, например,

$$F_y = \frac{F_x \times X}{Y},$$

измерение является косвенным.

Погрешность измерения частоты определяется по методике косвенных измерений:

$$\delta F_y \% = \sqrt{\left(\frac{\partial F_y}{\partial F_x} \times \frac{\Delta F_x}{F_y}\right)^2} \times 100\%.$$

Преобразуйте выражение с учетом исходных данных и рассчитайте погрешность измерения частоты исследуемого сигнала.

При выводе формулы частной производной учитывайте, что «У» и «Х» в данном случае являются Const.

Результат измерения запишите в соответствии с требованиями МИ 1317-86.

Задание 5

5.1 Дайте письменный ответ на теоретические вопросы по теме «Измерение временных параметров электрических сигналов цифровым частотомером»:

5.1.1 назначение цифрового частотомера;

5.1.2 функциональная схема цифрового частотомера, назначение элементов схемы;

5.1.3 порядок измерения частоты периодического сигнала цифровым частотомером;

5.1.4 причины погрешности измерения частоты цифровым частотомером;

5.1.5 порядок расчета погрешности измерения частоты сигнала цифровым частотомером.

Методические указания по выполнению задания 5

Теоретический материал по данной теме приводится в литературе [1] стр. 205-213 и [2] стр. 116-118.

Приведите функциональную схему цифрового частотомера, поясните назначение элементов схемы. Принцип измерения частоты периодических сигналов обязательно поясните временной диаграммой. Эти же диаграммы проанализируйте при пояснении причин появления погрешности измерения частоты.

При изучении данной темы возможно использование технического описания цифрового частотомера, построенного по принципу прямого счета, например частотомера типа ЧЗ-33.