

Лабораторная работа №5.  
Исследование электронно-світлого (цифрового) тахометра.

Петрова Т. Б.  
ИКТ-83

## Цель работы:

1. Изучить метрологические характеристики, принципы работы, структурную схему, источники погрешностей электронно-счетного частотомера, способы нормирования цинкаторной погрешности.
2. Научиться оценивать абсолютные и относительные погрешности результатов измерения частоты и периода, обусловленные погрешностями частотомера.
3. Формировать практические навыки работы с частотомером.

Таблица 5.1. Основные метрологические характеристики частотомера ЧЗ-33.

Характеристики	Нормируемые значения
Виды измерений	Синусоидальный сигнал, импульсы любой формы
Диапазон измеряемых частот в диапазоне измерений частоты, Гц	$10 - 10^7$
Пределы установок времени измерений $\Delta t_0$ , с	0,01; 0,1; 1; 10
Пределы установок периода измерения $T_0$ , мкс	0,1; 1; 10; 100; 1000
Основная относительная погрешность измерения частоты $\delta_f$	$\delta_f = \pm (\delta_0 \pm \frac{1}{N})$
Основная относительная погрешность измерения периода синусоидального сигнала, $\delta_T$	$\delta_T = \pm (\delta_0 + \frac{\delta_1}{n} + \frac{1}{n \cdot f_0 \cdot T_k})$
Основная относительная погрешность частоты внутреннего опорного генератора, $\delta_0$	$\pm 1 \cdot 10^{-6}$



Таблица 5.2. Результаты проверки работы частотомера в режиме самоконтроля

Частота (период) мГц время, мс	Показание частотомера, мГц при $\Delta t$ , с		
	0,01	0,1	1,0
100 ( $10^{-5}$ )	100,0	100,00	100,000
1000 ( $10^{-6}$ )	1000,0	1000,00	1000,000
10000 ( $10^{-7}$ )	10000,0	10000,00	10000,000

Страница

Таблица 5.3. Результаты исследования зависимости показаний и погрешности частотомера в режиме измерения частоты от времени измерения.

Время изм-ия $\Delta t$ , с	Погрешности			Эксперимент	
	$\Delta f_0$ , Гц	$\Delta f_{\text{кв}}$ , Гц	$\Delta f_{\text{ср}}$ , кГц	$f_x$ , кГц	$\Delta f_{\text{кв}}$ , кГц
10	$\pm 0,18$	$\pm 0,1$	$\pm 0,00028$	176,5432	0,0000
1,0	$\pm 0,18$	$\pm 1$	$\pm 0,0012$	176,543	0,0002
$10^{-1}$	$\pm 0,18$	$\pm 10$	$\pm 0,01$	176,54	0,0032
$10^{-2}$	$\pm 0,18$	$\pm 100$	$\pm 0,1$	176,5	0,0432

По номеру записи:  $f_x = 176$  кГц.

Таблица 5.4. Результаты исследования зависимости показаний и погрешности частотомера от частоты измеряемого сигнала в режиме измерения периода.

Установлено на шкале ген-ра		Результаты измерений периода, $T_0 = 0,1$ мкс							
		Инструмент				Рангит			
$f, \text{Гц}$	$T, \text{мкс}$	$T_{\text{инс}}, \text{мкс}$	$T_{\text{мин}}, \text{мкс}$	$T_{\text{ср}}, \text{мкс}$	$\Delta_{\text{ан}}, \text{мкс}$	$\Delta_{\text{кв}}, \text{мкс}$	$\Delta_0, \text{мкс}$	$\Delta T, \text{мкс}$	$\delta T$
$10^5$	0,01	0,0100	0,0099	0,00995	0,00005	$\pm 0,0001$	$\pm 0,00995$	0,00015	0,013
$10^4$	0,1	0,0995	0,0993	0,0994	0,00010	$\pm 0,0003$	$\pm 0,994$	0,00020	0,004
$10^3$	1,0	0,9954	0,9952	0,9953	0,00010	$\pm 0,0001$	$\pm 0,9953$	0,00020	0,003
$10^2$	10	9,9472	9,9441	9,9455	0,00155	$\pm 0,0001$	$\pm 9,9455$	0,0017	0,003

Таблица 5.5.

Частота	Установлено на шкале ген-ра		Результаты измерений частоты, $\Delta t_0 = 1$ с	
			Результаты измерений и оценки погрешности	
	$f, \text{Гц}$	$f_{\text{ср}}, \text{кГц}$	$\Delta f, \text{Гц}$	$\delta f$
	100	0,100	$\pm 1,0001$	$\pm 0,01$

Таблица 5.6.

$n$	Инструмент				Рангит		
	$T_{\text{инс}}, \text{мс}$	$T_{\text{мин}}, \text{мс}$	$T_{\text{ср}}, \text{мс}$	$\Delta_{\text{ан}}, \text{мс}$	$\Delta_0, \text{мкс}$	$\Delta_{\text{кв}}, \text{мс}$	$nT, \text{с}$
1	33,2667	33,2601	32,2634	0,0033	0,0322634	0,0001	0,03
10	33,26913	33,23637	32,25275	0,01638	0,03225275	0,00001	0,3



Примеры расчетов:

Для таблицы 5.3:

Погрешность, обусловленная пер-тью установки частоты опорн. генератора: (нваруется)

$$\Delta o_1 = \pm \delta_o f_x = \pm (10^{-6} \cdot 176 \text{ кГц}) = \pm 0,176 \text{ Гц} \approx \pm 0,18 \text{ Гц}$$

Погрешность квантования (дискретности):

$$\Delta k_2 = \pm \frac{1}{\Delta t_{o1}} = \pm \frac{1}{100} = \pm 0,1 \text{ Гц}$$

Линейная абсолютная погрешность частотомера:

$$\Delta f_{\Sigma} \approx \pm (\Delta o_1 + \Delta k_2) = \pm (0,18 \text{ Гц} + 0,1 \text{ Гц}) = \pm 0,28 \text{ Гц} = \pm 0,00028 \text{ кГц}$$

Абсолютная погрешность измерения частоты:

$$\Delta f_{\text{изм}} = f_x - f_{\text{изм}},$$

где  $f_{\text{изм}} = 176,5432 \text{ кГц}$  при линейной погрешности  $\Delta f_{\Sigma} = \pm 0,00028 \text{ кГц}$

$$\Delta f_{\text{изм}} = 176,5432 \text{ кГц} - 176,5432 \text{ кГц} = 0 \text{ кГц}$$

Для таблицы 5.4:

Результат измерения периода при наименьшей погрешности уровня записан:

$$T_{I_1} = \frac{T_{\text{макс}} + T_{\text{мин}}}{2} = \frac{0,0100 \text{ мс} + 0,0099 \text{ мс}}{2}$$

$$= 0,00995 \text{ мс}$$

Оценка абсолютной погрешности уровня записана:

$$\Delta \text{зан}_I = \frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{мин}}}{2} = \frac{0,0100 \text{ мс} - 0,0099 \text{ мс}}{2} = 0,00005 \text{ мс}$$

Температура

Абсолютная погрешность измерения (дискретности) в  
решение измерения периода:

$$\Delta_{\text{кв}_1} = \pm T_0 = \pm 0,1 \text{ мкс} = \pm 0,0001 \text{ мс}$$

Восстанавливающая абсолютной погрешности, обусловленная  
погрешностью внутреннего кварцевого генератора:

$$\Delta_{\text{о}_1} = \pm \delta_0 T_{x_1} = \pm 10^{-6} \cdot 0,00995 \text{ мс} = \pm 0,00995 \text{ нс}$$

Суммарная абсолютная погрешность частотомера в  
решение измерения периода:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\Sigma 1} &= \pm (\Delta_{\text{о}_1} + \Delta_{\text{кв}_1} + \Delta_{\text{зан}_1}) = \pm (0,00995 \text{ нс} + 0,0001 \text{ мс} + 0,00005 \text{ мс}) = \\ &= 0,0001500995 \text{ мс} \approx 0,00015 \text{ мс} \end{aligned}$$

Суммарная относительная погрешность электронно-  
счетных частотомеров в решение измерения периода  $T_x$  ин-  
дуцированного сигнала:

$$\begin{aligned} \delta T_{\Sigma 1} &= \pm (\delta_0 + \delta_{\text{кв}_1} + \delta_{\text{зан}_1}) = \pm \left( 10^{-6} + \frac{0,1 \text{ мкс}}{0,00995 \text{ мс}} + 0,003 \right) = \\ &= 0,0130513 \end{aligned}$$

Для таблицы 5.5:

Абсолютная погрешность измерения частоты

$$\Delta f_{\Sigma} = \pm (\Delta_0 + \Delta_{\text{кв}})$$

$$\Delta_0 = \delta_0 \cdot f_x = 10^{-6} \cdot 0,1001 \text{ Гц} = 0,0001 \text{ Гц}$$

$$\Delta_{\text{кв}} = \pm \frac{1}{\Delta t_0} = \pm \frac{1}{1 \text{ с}} = 1 \text{ Гц}$$

$$\Delta f_{\Sigma} = \pm (0,0001 \text{ Гц} + 1 \text{ Гц}) = \pm 1,0001 \text{ Гц}$$

Относительная погрешность измерения частоты:

Петрова



$$\delta_{f\pm} = \pm \left( \delta_0 + \frac{1}{f \cdot \Delta f_{\pm}} \right) = \pm \left( 10^{-6} + \frac{1}{100 \text{ Гц} \cdot 1,0005 \text{ Гц}} \right) \approx \pm 0,01$$

Для таблицы 5.6:

Результат измерения периода:

$$T_{I_1} = \frac{T_{\text{max}_1} + T_{\text{min}_1}}{2} = \frac{32,2601 \text{ мс} + 32,2667}{2} = 32,2634 \text{ мс}$$

Абсолютная погрешность опорного генератора:

$$\Delta_{0,1} = \pm \delta_0 \cdot T_{I_1} = \pm (10^{-6} \cdot 32,2634 \text{ мс}) = \pm 0,0322634 \text{ мс}$$

Абсолютная погрешность уровня запуска:

$$\Delta_{\text{зан}_1} = \pm \frac{T_{\text{max}_1} - T_{\text{min}_1}}{2} = \frac{32,2667 \text{ мс} - 32,2601}{2} =$$

$$= \pm 0,0033 \text{ мс}$$

Абсолютная погрешность квантования (дискретности):

$$\Delta_{\text{кв}_1} = \pm \frac{T_0}{n_1} = \pm \frac{0,1 \text{ мкс}}{1} = \pm 0,1 \text{ мкс} = \pm 0,0001 \text{ мс}$$

Время счета, затрачиваемое на получение одного результата измерения:

$$n_1 T_{I_1} = 1 \cdot 32,2634 \text{ мс} = 32,2634 \text{ мс} = 0,0322634 \text{ с}$$

Рассчитаем, во сколько раз уменьшится значение погрешности уровня запуска при изменении  $n$ :

$$\frac{\Delta_{\text{зан}} (n=10)}{\Delta_{\text{зан}} (n=1)} = \frac{0,01633 \text{ мс}}{0,0033 \text{ мс}} \approx 5$$

При изменении  $n$  значение погрешности уровня запуска уменьшается в 5 раз.

Термостаб

## Выводы:

По таблице 5.2:

При уменьшении  $\Delta t$  уменьшается количество знаний после зашумленной, то есть уменьшается точность.

По таблице 5.3:

С увеличением времени измерения  $\Delta t$  точность измерений увеличивается, а погрешность частотомера в режиме измерения частоты уменьшается.

По таблице 5.4:

С уменьшением частоты (увеличением периода) измеряемого сигнала увеличивается погрешность уровня затухания, а суммарная погрешность измерения периода  $(\delta T)$  уменьшается.

По таблице 5.5:

При измерении частотно-временных параметров сигналов в широком диапазоне частот целесообразно проводить измерения в режиме измерения частоты, поскольку погрешность с ростом частоты становится меньше; при измерении высоких частот использовать режим измерения частоты; при измерении низких частот целесообразно использовать режим измерения периода, а частоту наводить путём расчёта - как результирующую погрешностей измерений.

По таблице 5.6:

С увеличением множителя периода и погрешность уровня затухания увеличивается, погрешность опорного генератора практически не изменяется, а погрешность квантования уменьшается.

Температура