

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-СЧЕТНОГО (ЦИФРОВОГО) ЧАСТОТОМЕРА**

## **Цель работы**

Изучить метрологические характеристики, принципы работы, структурную схему, источники погрешностей электронно-счетного частотомера, способы нормирования суммарной погрешности.

Научиться оценивать абсолютные и относительные погрешности результатов измерения частоты и периода, обусловленные погрешностями частотомера.

Получить практические навыки работы с частотомером.

## **Используемые приборы**

Основной: электронно-счетный частотомер (ЭСЧ) ЧЗ-33.

Вспомогательный: генератор измерительных сигналов низкочастотный ГЗ-109.

## **Лабораторное задание**

1. Ознакомиться с метрологическими характеристиками исследуемого электронно-счетного частотомера.
2. Рассчитать в процессе подготовки к работе пределы ожидаемой абсолютной погрешности измерения заданного значения частоты.
3. Проверить работу частотомера в режиме самоконтроля.
4. Исследовать зависимость показаний и погрешности частотомера от времени измерения в режиме измерения частоты.
5. Исследовать зависимость показаний и погрешности частотомера от частоты исследуемого сигнала в режиме измерения периода.
6. Исследовать возможность уменьшения погрешности частотомера при использовании режима умножения периода.

**Подготовка к работе (домашнее задание)**

Изучить по литературе [1, 2, 5, 6] и конспекту лекций теоретический материал, относящийся к данной работе.

Изучить описание данной работы и заготовить в рабочей тетради формы всех таблиц в соответствии с указаниями к содержанию отчета.

Оценить расчетным путем в соответствии с требованиями п. 3.1 пределы ожидаемой абсолютной суммарной погрешности цифрового частотомера при измерении одного из значений частоты в диапазоне частот (100 - 200) кГц. Значение частоты принять равным  $f_x = 1XX$  кГц, где XX последние две цифры номера студенческого билета (зачетной книжки). Результаты расчета пределов суммарной погрешности и ее составляющих записать в табл. 5.3.

Для самопроверки готовности к выполнению работы сформулировать ответы на следующие вопросы, которые могут быть заданы при допуске к работе и при ее защите:

1. Нарисовать структурные схемы ЭСЧ в режиме измерения частоты и в режиме измерения периода, временные диаграммы сигналов на входе частотомера, первом и втором входах временного селектора и на его выходе.

2. Нарисовать структурную схему ЭСЧ в режиме самоконтроля. Что можно проверить в таком режиме?

3. Написать формулы, по которым оценивают пределы абсолютных и относительных погрешностей измерения частоты и периода с использованием ЭСЧ. Назвать составляющие суммарной погрешности и объяснить их происхождение.

4. Из каких соображений следует выбирать режим работы цифрового частотомера - измерения частоты или измерения периода?

5. Каким образом в частотомере формируется импульс, определяющий время измерения в режиме измерения частоты?

6. Поясните различие между понятиями «время измерения» и «время индикации».

7. Из каких соображений следует выбирать время измерения в режиме измерения частоты?

8. Каким образом в частотомере формируются метки времени?

9. Из каких соображений следует выбирать период (частоту) меток времени в режиме измерения периода?

10. Зачем в частотомере обеспечена возможность выбора периода меток времени? Почему нельзя оставить только одно значение периода меток - самое малое?

11. Как оценить быстродействие частотомера в различных режимах его работы?

12. Каким образом с помощью частотомера можно измерить отношение частот двух сигналов?

### Порядок выполнения работы и методические указания

#### *1. Ознакомление с метрологическими характеристиками исследуемого электронно-счетного частотомера*

1.1. Включить питание исследуемого частотомера и вспомогательного генератора измерительных сигналов для их прогрева.

1.2. Прочитать краткое техническое описание и инструкцию по работе с исследуемым частотомером ЧЗ-33 [3]. Ознакомиться с органами управления частотомера и вспомогательного генератора.

1.3. Заполнить табл. 5.1.

Таблица 5.1

Основные метрологические характеристики частотомера ЧЗ -33

Характеристики	Нормируемые значения
Режимы измерения:	
Диапазон измеряемых частот в режиме измерения частоты, Гц	
Пределы установки времени измерения $\Delta t_0$ , с	
Пределы установки периода меток времени $T_0$ , мкс	
Основная относительная погрешность частоты внутреннего опорного генератора, $\delta_0$	
Основная относительная погрешность измерения частоты $\delta_f$	
Основная относительная погрешность измерения периода синусоидального сигнала, $\delta_T$	

## **2. Проверка работы цифрового частотомера в режиме самоконтроля**

Включить режим самоконтроля; переключатель **Время измерения** установить на указанные в табл. 5.2 значения времени измерения  $\Delta t_0$  на каждой проверяемой частоте и записать показания цифрового индикатора в соответствующие строки табл. 5.2.

Проанализировать полученные данные, **сделать вывод по результатам проверки.**

Таблица 5.2  
Результаты проверки работы частотомера в режиме самоконтроля

Частота (период) меток времени, кГц (с)	Показания частотомера, кГц при $\Delta t_0$ , с		
	0,01	0,1	1,0
100 ( $10^{-5}$ )			
1000 ( $10^{-6}$ )			
10000 ( $10^{-7}$ )			

**Указание.** При записи показаний следует фиксировать все значащие цифры результата измерения, включая нули.

## **3. Исследование зависимости показаний и погрешности частотомера от времени измерения в режиме измерения частоты**

3.1. Взять за основу формулу, с помощью которой нормируется основная относительная погрешность частотомера в режиме измерения частоты и рассчитать (при домашней подготовке к работе) составляющие абсолютной погрешности цифрового частотомера:

- погрешность, обусловленную погрешностью установки частоты опорного (кварцевого) генератора:

$$\Delta_0 = \pm \delta_0 f_x;$$

- погрешность квантования (дискретности):

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

- суммарную абсолютную погрешность частотомера  $\Delta_{\Sigma} = \pm (\Delta_0 + \Delta_{\text{кв}})$ .

Расчет выполнить для четырех значений времени измерения  $\Delta t_0$ , указанных в табл. 5.3, и выбранного по требованиям раздела «Подготовка к работе» значения измеряемой частоты  $f_x$  в диапазоне 100 - 200 кГц.

Значение основной относительной погрешности  $\delta_0$  опорного генератора с кварцевой стабилизацией взять из метрологических характеристик частотомера ЧЗ-33.

Расчетные значения погрешностей следует округлить до двух значащих цифр. Результаты расчета записать в столбцы «Расчет» табл. 5.3.

Таблица 5.3

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

Время измерения $\Delta t_0$ , с	Расчет			Эксперимент	
	$\Delta_0$ , Гц	$\Delta_{кв}$ , Гц	$\Delta_{f\Sigma}$ , кГц	$f_x$ , кГц	$\Delta_{f_{экс}}$ , кГц
10					
1,0					
$10^{-1}$					
$10^{-2}$					

3.2. Установить частотомер в режим измерения частоты. Подать на вход А частотомера синусоидальный сигнал от генератора измерительных сигналов, на шкале которого установить значение частоты, выбранной при предварительном расчете по п.3.1. Измерить частоту сигнала при различных положениях переключателя **Время измерения**, соответствующих указанным в табл. 5.3 значениям  $\Delta t_0$ . Результаты измерения занести в столбец «Эксперимент» табл. 5.3.

*Указание.* Эксперимент следует проводить достаточно быстро, чтобы частота сигнала генератора ГЗ-109 не изменилась в процессе измерения существенным образом. Обратите внимание на изменение количества значащих цифр в показаниях частотомера при переключении времени измерения.

3.3. По данным расчета и эксперимента (табл. 5.3) выбрать показание частотомера, соответствующее минимальной погрешности  $\Delta_{f\Sigma}$  (наибольшей точности) измерения частоты. Это показание принять за действительное значение результата измерения  $f_{действ}$ .

Оценить абсолютную погрешность измерения частоты

$$\Delta f_{\text{эксп}} = f_x - f_{\text{действ}}$$

при других значениях времени измерения.

Полученные оценки  $\Delta f_{\text{эксп}}$  записать в табл. 5.3 и сравнить с расчетными значениями  $\Delta f_{\Sigma}$ . **Сделать вывод о характере изменения показаний и погрешности частотомера с увеличением времени измерения.**

**4. Исследование зависимости показаний и погрешностей частотомера от частоты исследуемого сигнала в режиме измерения периода**

4.1. Установить частотомер в режим измерения периода. Выбрать и установить на частотомере значение периода меток времени  $T_0$ , обеспечивающее минимальную погрешность измерения периода. Выбранное значение  $T_0$  записать в табл. 5.4.

Таблица 5.4

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

Установлено на шкале генератора		Режим измерения периода, $T_0 =$ мкс							
		эксперимент				расчет			
$f$ , Гц	$T$ , мс	$T_{x \text{ макс}}$ , мс	$T_{x \text{ мин}}$ , мс	$T_x$ , мс	$\Delta_{\text{зап}}$ , мс	$\Delta_{\text{кв}}$ , мс	$\Delta_0$ , мс	$\Delta_{T\Sigma}$ , мс	$\delta_{T\Sigma}$
$10^5$	0,01								
$10^4$	0,1								
$10^3$	1,0								
$10^2$	10								

**Указание.** При нормировании суммарной относительной погрешности электронно-счетных частотомеров в режиме измерения периода  $T_x$  синусоидального сигнала учитывают три составляющие:

$$\delta_{T\Sigma} = \pm(\delta_0 + \delta_{\text{кв}} + \delta_{\text{зап}}),$$

где  $\delta_0$  - относительная погрешность частоты опорного генератора;  $\delta_{\text{кв}}$  - относительная погрешность квантования (дискретности);  $\delta_{\text{зап}}$  - относительная погрешность уровня запуска.

Относительная погрешность квантования при измерении периода определяется по формуле  $\delta_{\text{кв}} = \pm \frac{T_0}{T_x}$ , где  $T_0$  - период меток времени. Значения  $T_0$  устанавливаются на

частотомере с помощью соответствующего переключателя. При выполнении данного пункта целесообразно выбрать минимальное значение  $T_0$ , чтобы реализовать максимальную точность.

4.2. Установить на генераторе и подать на вход Б частотомера синусоидальный сигнал, частота и период которого указаны в первой строке табл.5.4. Обратить внимание на то, что показания частотомера от одного измерения к другому будут несколько различаться.

**Указание.** Изменение показаний на одну единицу младшего разряда является следствием погрешности квантования. Изменение показаний в пределах нескольких единиц последнего разряда является следствием погрешности уровня запуска  $\Delta_{\text{зап}}$ , которая обусловлена наличием шумов в измеряемом сигнале и нестабильностью порога срабатывания формирующего устройства частотомера. Если предположить, что частота и, соответственно, период измеряемого сигнала постоянны, то результатом измерения периода при наличии погрешности уровня запуска можно считать значение:

$$T_x = \frac{T_{x\text{макс}} + T_{x\text{мин}}}{2},$$

а оценкой абсолютной погрешности уровня запуска значение

$$\Delta_x = \frac{T_{x\text{макс}} - T_{x\text{мин}}}{2},$$

где  $T_{x\text{макс}}$ ,  $T_{x\text{мин}}$  – соответственно максимальное и минимальное показания частотомера в ряду из нескольких наблюдений.

4.3. Записать измеренное значение периода  $T_x$  в табл. 5.4. Оценить пределы абсолютной погрешности уровня запуска  $\Delta_{\text{зап}}$  и записать в ту же таблицу. Повторить измерение периода и вычисление погрешности уровня запуска для других частот сигнала, указанных в первом столбце табл.5.4.

**Указание.** Следует обратить внимание на увеличение количества значащих цифр в показаниях частотомера с уменьшением частоты (увеличением измеряемого периода).

4.4. Оставить последнюю настройку генератора на частоту 100 Гц. Перевести частотомер в режим измерения частоты; выбрать по своему усмотрению время измерения  $\Delta t_0$ , установить его значение на частотомере и записать в табл. 5.5. Измерить частоту сигнала  $f_x$  и записать результат в ту же таблицу.

**Сделать вывод о целесообразности выбора того или иного режима работы частотомера при измерении сигналов низкой частоты.**

Таблица 5.5

Установлено на шкале генератора	Режим измерения частоты, $\Delta t_0 =$ с		
	Результат измерения и оценки погрешности		
$f$ , Гц	$f_x$	$\Delta_{f\Sigma}$ , Гц	$\delta_{f\Sigma}$
100			

*Указание.* Время измерения  $\Delta t_0$  в режиме измерения частоты выбирают исходя из противоречивых требований – минимизации погрешности измерения и обеспечения нужного быстродействия. С увеличением  $\Delta t_0$  уменьшается погрешность квантования (дискретности), но может возрасти методическая погрешность, связанная с возможным изменением частоты измеряемого сигнала в процессе эксперимента.

4.5. Рассчитать значения составляющих абсолютной погрешности частотомера  $\Delta_{кв}$  и  $\Delta_0$  в режиме измерения периода, суммарные абсолютную  $\Delta_{T\Sigma}$  и относительную  $\delta_{T\Sigma}$  погрешности. Записать эти значения в соответствующие столбцы табл. 5.4. **Сделать вывод о характере изменения погрешности уровня запуска и суммарной погрешности измерения периода с уменьшением частоты (увеличением периода) измеряемого сигнала.**

*Указание.* Абсолютная погрешность квантования (дискретности) в режиме измерения периода определяется выбранным значением периода меток времени  $T_0$  и рассчитывается по формуле

$$\Delta_{кв} = \pm T_0.$$

Составляющая абсолютной погрешности, обусловленная погрешностью внутреннего кварцевого генератора:

$$\Delta_0 = \pm \delta_0 T_x.$$

Значение абсолютной погрешности уровня запуска  $\Delta_{зап}$  взять из табл. 5.4. Суммарная абсолютная погрешность частотомера в режиме измерения периода

$$\Delta_{T\Sigma} = \pm (\Delta_0 + \Delta_{кв} + \Delta_{зап}).$$

4.6. Рассчитать значения абсолютной  $\Delta_{f\Sigma}$  и относительной  $\delta_{f\Sigma}$  погрешностей измерения частоты 100 Гц по результатам эксперимента и записать в табл. 5.5. Сопоставить численные значения относительных суммарных погрешностей частотомера в различных режимах.



**Сделать вывод о целесообразности использования того или иного режима работы частотомера при измерении частотно-временных параметров сигналов в широком диапазоне частот.**

*Указание.* Частота периодического сигнала и его период связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью, поэтому каждую из этих величин можно определить как путем прямых измерений, так и косвенных - по результату измерения другой величины. Выбор того или иного вида измерений и, соответственно, режима работы частотомера проводят путем оценки и сравнения ожидаемых относительных погрешностей прибора в различных режимах его работы.

***1. Исследование возможности уменьшения погрешности частотомера в режиме умножения периода***

*Указание.* В большинстве электронно-счетных частотомеров предусмотрена возможность измерения не одного, а нескольких ( $n$ ) периодов сигнала. Такой режим работы называют режимом «умножения» периода. Для его реализации частоту входного сигнала с помощью делителей частоты уменьшают в  $n$  раз ( $n = 1; 10; 100$  и т.д.). Из преобразованного сигнала формируют импульс длительностью  $nT_x$ , который и открывает временной селектор. Если показания счетчика разделить на  $n$ , то приблизительно во столько же раз можно уменьшить влияние погрешностей квантования (дискретности) и уровня запуска на результат измерения периода  $T_x$ . Платой за такое уменьшение является увеличение времени, затрачиваемого на одно измерение, и, соответственно, уменьшение быстродействия.

5.1. Измерить период  $T_x$  синусоидального сигнала при различных значениях множителя периода  $n$ , которые допускает устройство данного частотомера. Установить переключатель **Метки времени** в положение, соответствующее максимальной точности измерения периода. Подать с выхода генератора на вход Б частотомера сигнал, частота которого выбрана из значений 20 - 40 Гц. Записать результаты измерения периода при значениях  $n$ , которые допускает конструкция используемого частотомера, в соответствующие графы табл. 5.6.

5.2. Записать в табл. 5.6 значения, какие мог бы показать частотомер при других (бóльших) значениях коэффициента  $n$ .

5.3. Рассчитать и записать в табл. 5.6 значения составляющих абсолютной погрешности частотомера в рассматриваемом режиме:

погрешности опорного генератора

$$\Delta_0 = \pm \delta_0 T_x,$$

погрешности квантования (дискретности)

$$\Delta_{\text{кв}} = \pm \frac{T_0}{n},$$

погрешности уровня запуска

$$\Delta_{\text{зап}} = \pm \frac{T_{x \text{ макс}} - T_{x \text{ мин}}}{2}.$$

Рассчитать, во сколько раз изменилось значение погрешности уровня запуска при изменении  $n$ :

$$\frac{\Delta_{\text{зап}}(n=10)}{\Delta_{\text{зап}}(n=1)} =$$

**Сделать вывод об изменении вклада отдельных составляющих погрешности в суммарную погрешность частотомера с увеличением множителя периода  $n$ . Рассчитать время счета  $nT_x$ , затрачиваемое на получение одного результата измерения в таком режиме. Сделать вывод о том, какими соображениями должен определяться выбор значения  $n$ .**

Таблица 5.6

$n$	Эксперимент				Расчет		
	$T_{x \text{ макс}}, \text{ мс}$	$T_{x \text{ мин}}, \text{ мс}$	$T_x, \text{ мс}$	$\Delta_{\text{зап}}, \text{ мс}$	$\Delta_0, \text{ мс}$	$\Delta_{\text{кв}}, \text{ мс}$	$nT_x, \text{ с}$
1							
10							
100							
1000							
10000							
100000							

**Указание.** Расчетное значение времени счета следует округлить.

**Отчет должен содержать:**

- 1) номер и наименование работы;
- 2) цель работы;
- 3) все заполненные таблицы с их заголовками, расчетные формулы;
- 4) выводы по результатам исследований (разделы, по которым следует сделать выводы, выделены жирным шрифтом в тексте).