

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) Ч3-33.

Вспомогательный: генератор измерительных сигналов низкочастотный Г3-109.

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 Ч3-33 [3]. Ознакомиться с органами управления частотомера и вспомогательного генератора.

1.3. Заполнить табл. 5.1.

Таблица 5.1
Основные метрологические характеристики частотомера Ч3 -33

Характеристики	Нормируемые значения
Режимы измерения:	
Диапазон измеряемых частот в режиме измерения частоты, Гц	
Пределы установки времени измерения Δt_0 , с	
Пределы установки периода меток времени T_0 , мкс	
Основная относительная погрешность частоты внутреннего опорного генератора, δ_0	
Основная относительная погрешность измерения частоты δ_f	
Основная относительная погрешность измерения периода синусоидального сигнала, δ_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 Δt_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 Δt_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 Δt_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 δ_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 Δt_0 , с	Расчет			Эксперимент	
	Δ_0 , Гц	$\Delta_{\text{кв}}$, Гц	$\Delta_{f\Sigma}$, кГц	f_x , кГц	$\Delta_{f_{\text{Экс}}}$, 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 Δt_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 $f_{\text{действ.}}$.

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 макс, мс	T_x мин, мс	T_x , мс	$\Delta_{\text{зап}}$, мс	$\Delta_{\text{кв}}$, мс	Δ_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 δ_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 устанавливают 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 Δt_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 Δt_0 в режиме измерения частоты выбирают исходя из противоречивых требований – минимизации погрешности измерения и обеспечения нужного быстродействия. С увеличением Δt_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 $\Delta_{\text{кв}}$ и Δ_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

$$\Delta_{\text{кв}} = \pm T_0.$$

Составляющая абсолютной погрешности, обусловленная погрешностью внутреннего кварцевого генератора:

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

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

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

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 (больших) 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 макс, мс	T_x мин, мс	T_x , мс	$\Delta_{\text{зап}}$, мс	Δ_0 , мс	$\Delta_{\text{кв}}$, мс	nT_x , 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).