

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра промышленной электроники и информационно-измерительной техники

Е.А. Корнев, О.В. Худорожков

# **ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ЦИФРОВЫМ ЧАСТОТОМЕРОМ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Оренбург  
2019

УДК 621.317.761  
ББК 32.842-5  
К672

Рецензент – профессор, доктор технических наук, профессор В.Н. Булатов

**Корнев, Е.А.**

К672 Измерение частотных и временных параметров сигналов цифровым частотомером: методические указания / Е.А. Корнев, О.В. Худорожков; Оренбургский гос.ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019.- 17 с.

В методических указаниях изложены цели, задачи и методика проведения измерений частотных и временных параметров сигналов цифровым частотомером.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» для обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и микроэлектроника.

УДК 621.317.761  
ББК 32.842-5

© Корнев Е.А.,  
© Худорожков О.В., 2019  
© ОГУ, 2019

## Содержание

1 Цель работы .....	4
2 Используемые приборы .....	4
3 Лабораторное задание .....	4
4 Подготовка к работе (домашнее задание).....	5
5 Порядок выполнения работы и методические указания .....	6
5.1 Изучение метрологических параметров и характеристик электронно-счетного частотомера.....	6
5.2 Проверка работы цифрового частотомера в режиме самоконтроля .....	7
5.3 Исследование зависимости показаний и погрешности частотомера от времени измерения в режиме измерения частоты .....	8
5.4 Исследование зависимости показаний и погрешностей частотомера от частоты исследуемого сигнала в режиме измерения периода .....	10
5.5 Исследование возможности уменьшения погрешности частотомера в режиме умножения периода (деление частоты).....	14
6 Отчет .....	16
Список использованных источников .....	17

## **1 Цель работы**

1 Изучение структурной схемы и принципа работы цифрового электронно-счетного частотомера (ЭСЧ), его метрологических характеристик, определение источников погрешностей и способов нормирования суммарной погрешности.

2 Оценивание абсолютных и относительных погрешностей результатов измерения частоты и периода сигналов по нормированным погрешностям частотомера.

3 Овладение практическими навыками работы с частотомером.

## **2 Используемые приборы**

1 Основные приборы: электронно-счетные частотомеры (ЭСЧ) ЧЗ-33, ЧЗ-34.

2 Вспомогательные приборы: генератор измерительных сигналов низкочастотный ГЗ-109, генератор импульсных сигналов Г5-63.

## **3 Лабораторное задание**

В процессе подготовки и выполнения работы:

1 Изучите метрологические параметры и характеристики электронно-счетного частотомера.

2 Рассчитайте в процессе подготовки к работе пределы ожидаемой абсолютной погрешности измерения заданного значения частоты.

3 Проверьте работу частотомера в режиме самоконтроля.

4 Исследуйте зависимость показаний и погрешности частотомера от времени измерения в режиме измерения частоты.

5 Исследуйте зависимость показаний и погрешности частотомера от частоты исследуемого сигнала в режиме измерения периода.

6 Исследуйте возможность уменьшения погрешности частотомера при использовании режима умножения периода.

## 4 Подготовка к работе (домашнее задание)

Подготовку к работе проведите в следующей последовательности:

1 Изучите по литературе [1-5] и конспекту лекций теоретический материал, относящийся к данной работе. Изучите описание данной работы и заготовьте в рабочей тетради формы всех таблиц в соответствии с указаниями к содержанию отчета.

2 Оцените расчетным путем (после изучения ЭСЧ) 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 запишите в таблицу 5.3.

3 Для самопроверки готовности к выполнению работы составьте схемы, напишите формулы, сформулируйте ответы на вопросы, которые могут быть заданы при допуске к работе и при ее защите:

- нарисуйте 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.

- нарисуйте структурную схему ЭСЧ в режиме самоконтроля. Что можно проверить в таком режиме?

- напишите формулы, по которым оценивают пределы абсолютных и относительных погрешностей измерения частоты и периода с использованием ЭСЧ. Назовите составляющие суммарной погрешности и объясните их происхождение.

- из каких соображений следует выбирать режим работы цифрового частотомера - измерения частоты или измерения периода?

- каким образом в частотомере формируется импульс, определяющий время измерения в режиме измерения частоты?

- поясните различие между понятиями “время измерения” и “время индикации”.

- из каких соображений следует выбирать время измерения в режиме измерения частоты?

- каким образом в частотомере формируются метки времени?

- из каких соображений следует выбирать период (частоту) меток времени в режиме измерения периода?

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

- как оценить быстродействие частотомера в различных режимах его работы?

- каким образом с помощью частотомера можно измерить отношение частот двух сигналов?

## **5 Порядок выполнения работы и методические указания**

### **5.1 Изучение метрологических параметров и характеристик электронно-счетного частотомера**

Прочитайте техническое описание и инструкцию по работе с исследуемым частотомером ЧЗ-33 или ЧЗ-34. Ознакомьтесь с органами управления частотомера и вспомогательного генератора. Заполните таблицу 5.1.

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

Таблица 5.1 – Основные метрологические параметры и характеристики частотомеров ЧЗ-33, ЧЗ-34

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 $\delta_T$ , %	

## 5.2 Проверка работы цифрового частотомера в режиме самоконтроля

Включите режим самоконтроля ЭСЧ, затем переключатель **Время измерения** устанавливайте на указанные в таблице 5.2 значения времени измерения  $\Delta t_0$  на каждой проверяемой частоте. Запишите показания цифрового индикатора в соответствующие строки таблицы 5.2. Проанализируйте полученные данные, **сформулируйте вывод по результатам проверки в режиме самоконтроля ЭСЧ.**

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 фиксируйте все значащие цифры результата измерения, включая нули.

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

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

а) погрешность, обусловленную погрешностью установки частоты опорного (кварцевого) генератора

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

б) погрешность квантования

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

в) суммарную абсолютную погрешность частотомера

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

Расчет выполните для четырех значений времени измерения  $\Delta t_0$ , указанных в таблице 5.3 и выбранного значения измеряемой частоты  $f_x$  в диапазоне 100 - 200 кГц в соответствии с п. 2 раздела 4 в процессе подготовки к работе.

Значение основной относительной погрешности  $\delta_0$  опорного генератора с кварцевой стабилизацией приведено в описании метрологических параметров частотомеров ЧЗ-33, ЧЗ-34.

Расчетные значения погрешностей следует округлить до двух значащих цифр. Результаты расчета запишите в столбцы “Расчет” таблицы 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					
$10^{-1}$					
$10^{-2}$					

5.3.2 Установите частотомер в режим измерения частоты. Подайте на вход А частотомера синусоидальный сигнал от генератора измерительных сигналов, на шкале которого установите значение частоты  $f_x$ , выбранной при предварительном расчете по п.5.3.1. Измерьте частоту сигнала при различных положениях переключателя **Время измерения**, соответствующих указанным в таблице 5.3 значениям  $\Delta t_0$ . Результаты измерения запишите в столбец “Эксперимент” таблицы 5.3.

**Указание.** Эксперимент следует проводить в течении (10-20) с, 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.

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

Оцените абсолютную погрешность измерения частоты

$$\Delta_{f_{экс}} = f_x - f_{действ}$$

при других значениях времени измерения.

Полученные оценки  $\Delta_f$  эксп запишите в таблицу 5.3 и сравните с расчетными значениями  $\Delta_{f\Sigma}$ . **Отразите в отчете вывод о характере изменения показаний и погрешности частотомера с увеличением времени измерения.**

#### 5.4 Исследование зависимости показаний и погрешностей частотомера от частоты исследуемого сигнала в режиме измерения периода

5.4.1 Установите частотомер в режим измерения периода. Выберите и установите на частотомере значение периода меток времени  $T_0$ , обеспечивающее минимальную погрешность измерения периода. Выбранное значение  $T_0$  запишите в таблицу 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, $T_0 = \dots$ , 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

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

где  $\delta_0$  - относительная погрешность частоты опорного генератора;

$\delta_{кв}$  - относительная погрешность квантования;

$\delta_{зап}$  - относительная погрешность уровня запуска.

Относительная погрешность квантования при измерении периода определяется по формуле

$$\delta_{кв} = \pm \frac{T_0}{T_x},$$

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.

5.4.2 Установите на генераторе и подайте на вход Б частотомера синусоидальный сигнал, частота и период которого указаны в первой строке таблицы 5.4. Обратите 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  $\Delta_{зап}$ , 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

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

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

5.4.3 Запишите измеренное значение периода  $T_x$  в табл. 5.4. Оцените пределы абсолютной погрешности уровня запуска  $\Delta_{\text{зап}}$  и запишите в ту же таблицу. Повторите измерение периода и вычисление погрешности уровня запуска для других частот сигнала, указанных в первом столбце таблицы 5.4.

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

5.4.4 Оставьте последнюю настройку генератора на частоту 100 Гц. Переведите частотомер в режим измерения частоты; выберите по своему усмотрению время измерения  $\Delta t_0$ , установите его значение на частотомере и запишите в таблицу 5.5. Измерьте частоту сигнала  $f_x$  и запишите результат в ту же таблицу.

**Сделайте вывод о целесообразности выбора режима измерения частоты или измерения периода при измерении низкой частоты сигналов.**

Таблица 5.5 – Измерение частоты сигнала в режиме частоты

Установлено на шкале генератора	Режим измерения частоты, $\Delta t_0 = \dots$ , 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, но может возрасти методическая погрешность, связанная с возможным изменением частоты измеряемого сигнала в процессе эксперимента.

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

**Указание.** Абсолютная погрешность квантования 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

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

Экспериментальные значения абсолютной погрешности уровня запуска  $\Delta_{\text{зап}}$  представлены в таблице 5.4. Суммарная абсолютная погрешность частотомера в режиме измерения периода равна

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

5.4.6 Рассчитайте значения абсолютной  $\Delta_{f\Sigma}$  и относительной  $\delta_{f\Sigma}$  погрешностей измерения частоты 100 Гц по результатам эксперимента и запишите в таблицу 5.5. Сопоставьте численные значения относительных суммарных погрешностей частотомера в различных режимах.

***Сделайте 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.

### **5.5 Исследование возможности уменьшения погрешности частотомера в режиме умножения периода (деление частоты)**

***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.

5.5.1 Измерьте период  $T_x$  синусоидального сигнала при различных значениях множителя периода  $n$ , которые допускает устройство данного частотомера. Установите переключатель ***Метки времени*** в положение, соответствующее максимальной точности измерения периода. Подайте с выхода генератора на вход Б частотомера сигнал, частота которого выбрана из значений 20 - 40 Гц. Запишите

результаты измерения периода при значениях  $n$ , которые допускает конструкция используемого частотомера, в соответствующие графы таблицы 5.6.

5.5.2 Запишите в таблицу 5.6 значения, какие мог бы показать частотомер при других (бóльших) значениях коэффициента  $n$ .

5.5.3 Рассчитайте и запишите в таблицу 5.6 значения составляющих абсолютной погрешности частотомера в рассматриваемом режиме погрешности опорного генератора

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

погрешности квантования

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

погрешности уровня запуска

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

Рассчитайте, во сколько раз изменилось значение погрешности уровня запуска, например, при изменении  $n$  на порядок из отношения

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

где  $\Delta_{\text{зан}}(n=10)$ ,  $\Delta_{\text{зан}}(n=1)$ - погрешности уровня запуска при коэффициенте деления частоты  $n$  соответственно 10 и 1.

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

Таблица 5.6 – Результаты измерения периода синусоидального сигнала в режиме умножения периода (деление частоты)

$n$	Эксперимент				Расчет		
	$T_{x \text{ макс,}}$ мс	$T_{x \text{ мин,}}$ мс	$T_x$ , мс	$\Delta_{\text{зап,}}$ мс	$\Delta_0$ , мс	$\Delta_{\text{кв,}}$ мс	$nT_x$ , с
1							
10							
100							
1000							
10000							
10000 0							

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

## 6 Отчет

**Отчет должен содержать:**

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

## Список использованных источников

1 Шпаков, П. С. Математическая обработка результатов измерений / Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. - Краснояр.: СФУ, 2014. - 410 с.: ISBN 978-5-7638-3077-4 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/550266>

2 Метрология и радиоизмерения: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Радиотехника" / В. И. Нефедов [и др.] ; под ред. В. И. Нефедова.- 2-е изд., перераб. - Москва: Высш. шк., 2006. - 526 с. : ил.. - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 514. - Предм. указ.: с. 515. - ISBN 5-06-004427-0.

3 Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - М.: Высш. шк., 2001. - 205 с.: ил - ISBN 5-06-003796-7.

4 Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для академического бакалавриата: учебник для студентов высших учебных заведений обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе . - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2015.

5 Третьяк, Л. Н. Основы теории и практики обработки экспериментальных данных: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / Л. Н. Третьяк, А. Л. Воробьев; под общ. ред Л. Н. Третьяк.- 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2017. - 218 с. : ил.; 16,82 печ. л. - (Университеты России). - На тит. л.: Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru. - Библиогр.: с. 198. - Прил.: с. 199-211. - Предм. указ.: с. 212-217. - ISBN 978-5-534-04914-5.