

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

В.С. БАСКАКОВ, А.Л. КОСОВА

**ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ  
ЦИФРОВОГО ЧАСТОТОМЕРА**

Методические указания по выполнению  
лабораторной работы №3

Самара  
2017

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,  
протокол № 34 от 17.02.2017 г.

Рецензент:  
д.т.н., проф. Мелентьев В.С.

**Косова А.Л., Баскаков В.С.**

**Изучение принципов работы цифрового частотомера**  
методические указания по выполнению лабораторной работы/  
А.Л. Косова, В.С. Баскаков. – Самара: ПГУТИ, 2017. –12 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный изучению принципу действия цифрового частотомера.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем, 11.03.01 Информационная безопасность, 27.03.04 Управление в технических системах, 27.03.05 Инноватика, 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 Информационные системы и технологии и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© Косова А.Л., 2017

© Баскаков В.С., 2017

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа действия цифрового частотомера. Приобретение навыков практической работы с частотомером в режимах измерения: частоты, периода, отношения частот.

## 2. ЛИТЕРАТУРА

2.1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001, с.198-199, 205-213.

2.2. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов/ А.С. Сигов, Ю.Д. Белик, В.И. Нефедов и др., 2 изд., 2005, с.228-237

2.3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. Пособие для вузов/ Б.П. Хромой, А.В.Кандинов, А.Л. Сеньявский и др.: Под ред. Б.П. Хромой. – М.: Радио и связь, 1986, с. 213-215.

2.4. Кушкир Ф.В. Электрорадиоизмерения: Учебное пособие для вузов –Л.: Энергоатомиздат, 1983, с.207-215.

## 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить принцип действия цифрового частотомера при измерении частоты, периода, отношения частот.

3.2. Подготовить конспект с краткими ответами на контрольные вопросы.

3.3. подготовить бланк отчета, содержащий таблицы и схемы измерений.

## 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. В чем заключается сущность дискретного счета, применяемого в цифровых частотомерах?

4.2. Какова структурная схема цифрового частотомера в режиме измерения частоты?

4.3. Какова структурная схема цифрового частотомера в режиме измерения периода?

4.4. Какова структурная схема цифрового частотомера в режиме измерения отношения частот?

4.5. Каковы соотношения (формулы), описывающие погрешности измерения частоты, периода, отношения двух частот?

4.6. Как регулируются погрешности измерения частоты, периода, отношения двух частот при работе с цифровым частотомером?

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

5.1. Проверить градуировку шкалы частот генератора.

5.2. Определить кратковременную нестабильность частоты генератора.

5.3. Измерить период и частоту.

5.4. Измерить отношение двух частот.

5.5. Рассчитать абсолютные и относительные погрешности измерений: частоты, периода, отношения частот.

5.6. По результатам измерений каждого параметра сделать выводы.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- титульный лист с указанием кафедры, наименованием работы, Ф.И.О. студента, номер учебной группы;

- цель работы;

- схемы измерений;

- таблицы с результатами измерений и расчетов погрешности;

- выводы.

## 7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

7.1. Работа с частотомером в режиме измерения частоты.

7.1.1.Собрать схему установки (рис.1). Включить частотомер ЧЗ- и генератор ГЗ-, прогреть их в течении 10...15 мин. Установить на выходе генератора по встроенному в него вольтметру напряжение, равное 3В. Подать этот сигнал на – вх. А – частотомера.

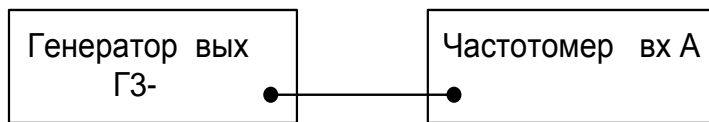


Рис.1

7.1.2. Установить в частотомере режим измерений частоты, для чего установить переключатели:

- «Род работы» в положение «Частота А» («F(A)»):

- «Время индикации» в положение, соответствующее интервалу времени, удобному для считывания показания:
- аттенюатор «Вх А» в положении 1:1:
- «Время счета-множ. периода» в положение, соответствующее трем значащим цифрам отсчета на нижнем пределе измерения.

7.1.3. С помощью цифрового частотомера произвести градуировку шкалы частот генератора. Значения поверяемых частот приведены в табл. 1.

Выставленные и измеренные значения частот занести в табл.2, и произвести расчет погрешностей градуировки:

- абсолютной  $\Delta f = f_{\Gamma} - f_{\text{ч}}$ ;

Таблица 1

№ бригады	Точка градуировки шкалы, кГц								
1	35	50	65	80	100	120	150	180	200
2	30	45	60	75	95	115	140	170	190
3	25	40	55	70	90	110	135	160	180
4	20	35	50	65	85	105	130	150	170
5	15	30	45	60	80	100	120	140	160
6	10	25	40	55	75	95	110	130	150
7	5	20	35	50	70	90	105	120	140
8	2	15	30	45	65	85	100	110	130

- относительной  $\delta f = \left( \frac{\Delta f}{f_{\text{ч}}} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{f_{\Gamma} - f_{\text{ч}}}{f_{\text{ч}}} \right) \cdot 100\%$  ;

где  $f_{\Gamma}$  – выставленное по шкале генератора значение частоты;  
 $f_{\text{ч}}$  – измеренное частотомером значение частоты.

Данные расчетов также занести в табл.2.

Таблица 2

$f_{\Gamma}$ , кГц	
$f_{\text{ч}}$ , кГц	
$\Delta f$ , кГц	
$\delta f$ , %	

По результатам эксперимента сделать вывод о пригодности генератора (годен, негоден).

Допустимое значение абсолютной погрешности НЧ генератора  $\pm(0,02F+1)$  Гц, относительной погрешности  $\delta f_{\text{доп}} = (2 + 100/F)\%$ .

7.1.4. С помощью цифрового частотомера определить кратковременную нестабильность частоты генератора. Значение частоты генератора, в соответствии с номером бригады, приведено в табл.3.

Таблица 3

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{\Gamma}$ , кГц	100	95	90	85	80	75	70	65

Показания снимаются через каждую минуту в течении 15 минут и заносятся в табл.4.

Таблица 4

Время, мин.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$f_{\text{ч}}$ , кГц															

Положение переключателя «Время счета-множ. периода» соответствует шестизначному отсчету.

По данным табл. 4 производится расчет нестабильности частоты генератора

$$\Delta = f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}} \cdot$$

Полученное значение  $\Delta$  сравнить с нормой  $\Delta_H = (250 * 10 - 6 f + 30)$  Гц, и сделать вывод о пригодности генератора (годен, негоден).

7.2. Работа с частотомером в режиме измерения периода.

7.2.1. Собрать схему установки (рис. 2).

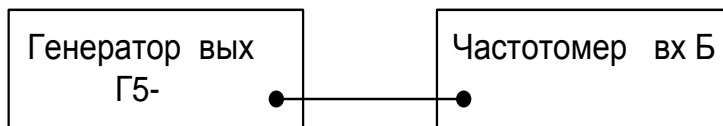


Рис.2

На выходе генератора по встроенному в него вольтметру установить напряжение, равное 3В, и подать его согласно имеющейся форме сигнала (импульсной) на соответствующий «Вх Б».

7.2.2. Установить в частотомере режим измерения периода, для чего установить переключатели:

- «Род работы» в положение «Частота Б» («Тб»);
- «Время счета-множ. периода» в положение 1;
- выбора формы сигнала «Вх Б» в положение, соответствующее форме и полярности измеряемого сигнала;
- аттенюатор «Вх Б» в положение 1:1;
- «Метки времени» в положение, соответствующее трем значащим цифрам отсчета на нижнем пределе измерения периода.

7.2.3. С помощью цифрового частотомера произвести измерение периода частот заданных табл.5.

Таблица 5

№ бригады	Точка градуировки шкалы, кГц								
1	350	500	650	800	1000	1200	1500	1800	2000
2	300	450	600	750	950	1150	1400	1700	1900
3	250	400	550	700	900	1100	1350	1600	1800
4	200	350	500	650	850	1050	1300	1500	1700
5	150	300	450	600	800	1000	1200	1400	1600
6	100	250	400	550	750	950	1100	1300	1500
7	50	200	350	500	700	900	1050	1200	1400
8	20	150	300	450	650	850	1000	1100	1300

Выставленные и измеренные значения периода заданных частот занести в табл. 6 и произвести расчет погрешностей измерения периода:

- абсолютной  $\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{ч}}$ ;

- относительной  $\delta T = \left( \frac{\Delta T}{T_{\text{ч}}} \right) \cdot 100\%$ .

где  $T_{\Gamma} = 1/f_{\Gamma}$  – выставленное по шкале частот генератора значение периода;

$T_{\text{ч}}$  – измеренное частотомером значение периода.

Данные расчетов также заносим в табл.

Таблица 6

$f_{\Gamma}, \text{Гц}$	
$T_{\Gamma} = 1/f_{\Gamma}, \text{мс}$	
$T_{\text{ч}}, \text{мс}$	

$\Delta T$ , мс	
$\delta T$ , %	

### 7.3. Работа с частотомером в режиме измерения отношения частот.

#### 7.3.1. Собрать схему установки (рис.3).

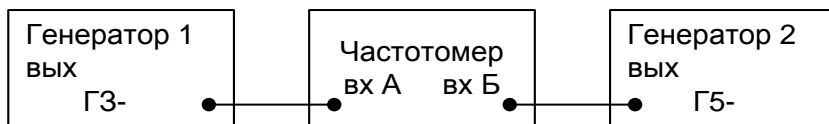


Рис. 3

С генератора 1 более высокая частота подается на «Вх А», а с генератора 2 более низкая частота подается на «Вх Б». Величина сигналов с генераторов по встроенному в них вольтметру устанавливается равной 3В.

7.3.2. Установить в частотомере режим измерения отношения частот, для чего установить переключатель:

- «Род работы» в положение «Отнош. Частот А/Б» («FA/ФБ»);
- аттенюатора «Вх А» и «Вх Б» в положение 1:1;
- «Время индикации» в положение, соответствующее интервалу времени, удобному для считывания показаний;
- «Время счета-множ. периода» в положение, соответствующее трем значащим цифрам отсчета для min соотношения частот  $f_Г / f_Ч$

7.3.3. С помощью частотомера произвести измерения отношения частот ( $f_A/f_B$ ), указанных в табл. 7.

Таблица 7

Частота $f_A$ , кГц	20,0	24,0	28,0	32,0	36,0	40,0	50,0	60,0
Частота $f_B$ , кГц	2,00	1,20	1,00	0,80	0,60	0,40	0,20	0,10
$N = f_A/f_B$								
$N_{изм} = N_ч$								
$\Delta N = N - N_ч$								
$\delta N = (\Delta N/N)100\%$								

Выставленные «N» и измеренные значения отношения частот « $N_ч$ » занести в табл. 7 и произвести расчет погрешностей:

- абсолютной  $\Delta N = N - N_ч$ ;



- относительной  $\delta N = (\Delta N/N)100\%$ .

Данные расчетов также занести в табл. 7.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОПИСАНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТОМЕРА

Принцип действия цифрового частотомера основан на методе дискретного счета, который заключается в подсчете количества импульсов за определенный интервал времени. Для реализации данного метода счета имеется два канала: в одном канале формируется импульсы, во втором – интервал времени.

В зависимости от того, к какому каналу подведен исследуемый сигнал в частотомере, может быть реализовано измерение частоты, периода или отношения частот. Выбор режима измерения определяется соответствующей коммутацией блоков в канале формирования импульсов и канале формирования интервала времени.

#### 1. Схема частотомера в режиме измерения частоты.

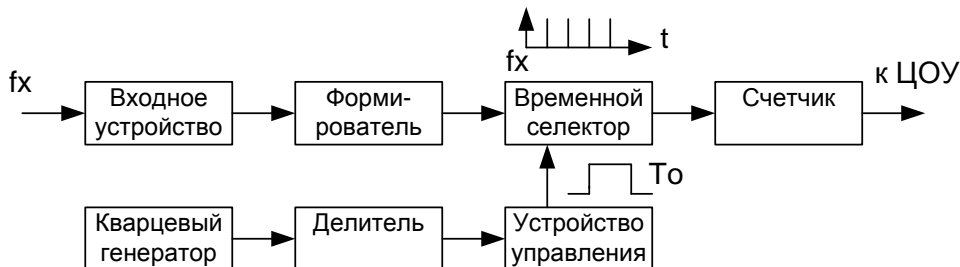


Рис. 4 - Структурная схема цифрового частотомера при измерении частоты

В режиме измерения частоты входной сигнал через входное устройство, осуществляющее необходимое усиление и фильтрацию, запускает формирующее устройство. На его выходе образуется последовательность коротких счетных импульсов с частотой следования, равной измеряемой частоте « $f_x$ ». Эта последовательность импульсов подается на один из входов временного селектора, представляющий собой управляемый ключ, который пропускает на электронный счетчик

счетные импульсы только при наличии на втором управляющем входе разрешающего стробирующего импульса, длительность которого « $T_0$ » определяет время измерения. Стробирующий импульс вырабатывается устройством управления с помощью делителей частоты из сигнала опорного кварцевого генератора. Число импульсов « $N$ », отсчитанное счетчиком, будет пропорционально частоте входного сигнала.

$$f_x = (1/T_0)N$$

Относительная погрешность измерений частоты частотомером не превышает суммарную:

$$\delta = \pm(\delta_0 + 1/(f_x \cdot T_0)),$$

где  $\delta_0$  – относительная погрешность формирователя частоты кварцевым генератором (вследствие малости ей часто пренебрегают):

$1/(f_x \cdot T_0)$ – относительная погрешность дискретности счета:

$f_x$  – значение измеряемой частоты, кГц:

$T_0$  – время измерения, мс.

## 2. Схема частотомера в режиме измерения периода

В режиме измерения периода входной сигнал через входное устройство, осуществляющее необходимое усиление и фильтрацию, поступает на формирующее устройство, которое формирует из него прямоугольный импульс, длительность которого « $T_x$ » определяет время открытого состояния временного селектора.

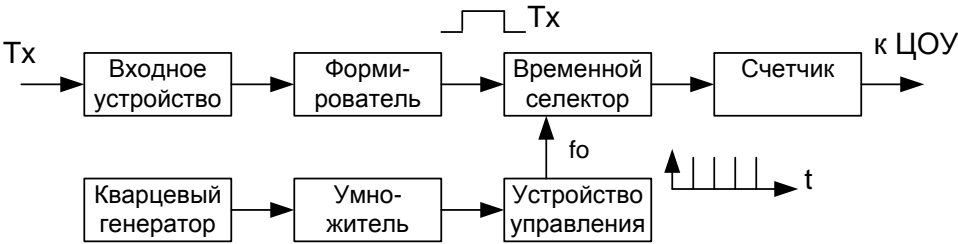


Рис. 5 – Структурная схема цифрового частотомера при измерении периода

В это время через селектор на счетчик проходят счетные импульсы частотой  $f_0$ , сформированные устройством управления в умножителе частоты из сигнала опорного кварцевого генератора, называемые иногда

метками времени. Число импульсов « $N$ », отсчитанное счетчиком, будет пропорционально периоду входного сигнала:

$$T_x = (1/f_0)N$$

Относительная погрешность измерения периода не превышает суммарную:

а) при синусоидальном сигнале  $\delta = \pm (\delta_0 + \delta_1/n + 1/(nf_0 \cdot T_x))$

б) при импульсном сигнале  $\delta = \pm (\delta_0 + 1/(nf_0 \cdot T_x))$

$\delta_0$  – относительная погрешность формирования частоты кварцевым генератором (вследствие малости ей часто пренебрегают);

$\delta_1$  – относительная погрешность формирования периода. При отношении  $U_{\text{сигнала}}/U_{\text{помехи}} \geq 40$  дБ имеем  $\delta_1 = \pm 0,003$ :

$1/(nf_0 \cdot T_x)$  – относительная погрешность дискретности счета:

$n$  – множитель периода (коэффициент усреднения):

$f_0$  – частота заполнения, кГц:

$T_x$  – значение измеряемого периода, мс.

### 3. Схема частотомера в режиме измерения отношения частот

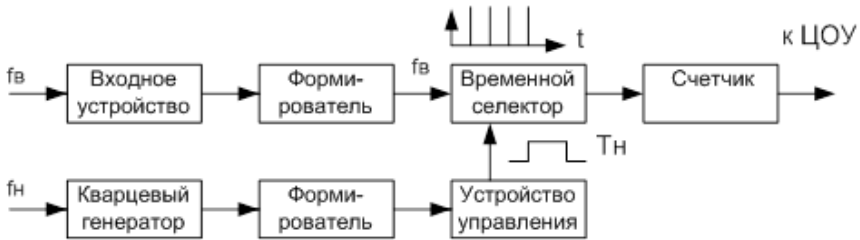


Рис. 6 – Структурная схема цифрового частотомера при измерении отношения частот

При измерении отношения частот кварцевый генератор отключается. Из высшей частоты « $f_B$ » в канале формирования импульсов формируются импульсы образцовой частоты. Из низшей частоты в канале формирования интервала времени формируется интервал времени счета « $T_H$ ». Число импульсов, сосчитанное счетчиком, будет равно отношению частот

$$N = T_H \cdot f_B = f_B/f_H.$$

Относительная погрешность измерения отношения частот не превышает суммарную:

а) при синусоидальном сигнале  $\delta = + (\delta_1/n + f_H/(f_B \cdot n))$ ;

б) при импульсном сигнале  $\delta = + f_H/(f_B \cdot n)$ ;

где  $\delta_1$  - относительная погрешность формирования периода. При отношении  $U_{\text{сигнала}}/U_{\text{помехи}} \geq 40$  дБ имеем  $\delta_1 = \pm 0,003$ :

$f_H/f_B$  - относительная погрешность дискретности счета:

$n$  - множитель периода (коэффициент усреднения) сигнала низкой частоты:

$f_B$  - значение высшей из сравниваемых частот:

$f_H$  - значение низшей из сравниваемых частот.