

# Лабораторная работа № 4

## Измерение частоты, фазового сдвига и временных интервалов

**Цель работы:** изучение методов и средств измерения частоты, фазового сдвига, временных интервалов и методики оценки погрешностей результатов измерения.

**Аппаратура:** универсальный лабораторный стенд по информационно-измерительной технике, лабораторный модуль №2, коаксиальные разветвители, цифровой электронно-счётный частотомер ЧЗ-33, электронный двухлучевой осциллограф С1-98, цифровой вольтметр В7-16 или милливольтметр ВЗ-38.

### 1 Предварительная подготовка к работе

1.1 Изучить материалы по литературе [1] – с. 192-215, [2] – с. 251-267, [3] - Приложение [2], [4] – с. 279-292, техническое описание используемых приборов и стенда.

1.2 Ответить на вопросы:

1.2.1 Каково назначение блока умножителей частоты кварцевого генератора прибора ЧЗ-33?

1.2.2 Что определяет диапазон частот, измеряемых прибором ЧЗ-33?

1.2.3 В чём преимущество цифровых измерительных приборов перед аналоговыми?

1.2.4 Каковы назначение и принцип действия прибора ЧЗ-33?

1.2.5 Каковы методы измерения частоты?

1.2.6 Каковы достоинства и недостатки аналоговых и цифровых частотомеров?

1.2.7 Каковы технические характеристики частотомера, встроенного в универсальный лабораторный стенд?

### 2 Содержание лабораторной работы

2.1 Измерить частоту периодических сигналов синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы, получаемых с генератора сигналов универсального лабораторного стенда, с помощью двух частотомеров при различных положениях переключателя «время измерения». Оценить погрешность результатов измерения.

2.2 Измерить длительность и период тех же сигналов, оценить погрешность измерения.

2.3 Определить нестабильность частоты генератора, встроенного в универсальный лабораторный стенд, работающего в режиме генерирования синусоидального сигнала частотой 10 кГц.

2.4 С помощью двухлучевого осциллографа измерить фазовый сдвиг между синусоидальными напряжениями на входе и выходе фазосдвигающего устройства 1, 2, 3 (вариант 1, 2, 3 – указывается преподавателем), находящегося в лабораторном модуле №2 для различных частот и построить график зависимости фазового сдвига от частоты.

2.5 Снять фазочастотную характеристику полосового фильтра (вариант 4 модуля №2).

### 3 Методические указания к работе

3.1 Цифровой частотомер позволяет измерять период и частоту периодических сигналов, временные параметры импульсных сигналов. Относительная погрешность (в процентах) измерения частоты определяется по формуле:

$$\delta_X = \pm \delta_{\Gamma} \pm 100 / t_{\text{И}} f_X$$
, где  $t_{\text{И}}$  – время усреднения (измерения);  $f_X$  – измеряемая частота сигнала, Гц;  $\delta_{\Gamma}$  – погрешность кварцевого генератора частотомера, которую для ЧЗ-33 можно принять равной 0,001%.

Относительная погрешность (в процентах) измерения периода  $T_X$  равна:

$$\delta_T = \pm 100 / T_X f_0$$
, где  $f_0 = 1 / T_0$  – частота квантующих импульсов, Гц,  $T_0$  – период квантующих импульсов («метки времени»).

3.2 Для выполнения пунктов 2.1 – 2.3 лабораторной работы необходимо собрать схему установки согласно рис. 4.1.

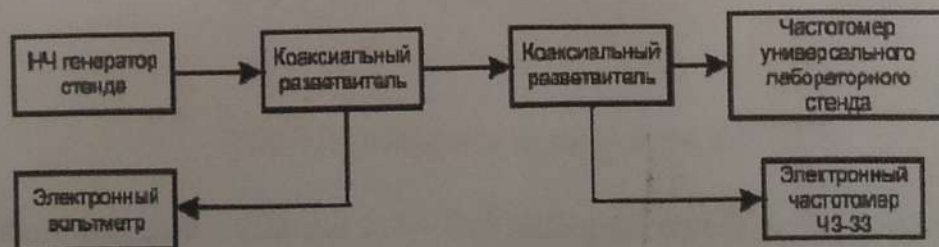


Рис. 4.1. Схема лабораторной установки для измерения частоты, длительности и периода



**3.3** Встроенный в универсальный лабораторный стенд цифровой частотомер имеет ряд особенностей, которые следует учитывать при выполнении работы.

**3.3.1** Частотомер имеет коаксиальный и штекерный входы, которые служат для работы в области высоких и низких частот соответственно, что определяется положением переключателя ВЧ↔НЧ.

**3.3.2** Входное напряжение, подаваемое на встроенный частотомер от встроенного генератора, должно быть не менее 2,6 В.

**3.3.3** При использовании штекерного входа в режиме измерения низких частот используется гнездо «старт», а тумблер режима измерения ставится в положение НЧ.

**3.3.4** При использовании коаксиального входа тумблер режима измерения ставится в положение ВЧ.

**3.4** Фазовый сдвиг измеряется на примере прохождения синусоидального сигнала через RL или RC цепочки, расположенные в лабораторном модуле №2 (рис. 4.2).

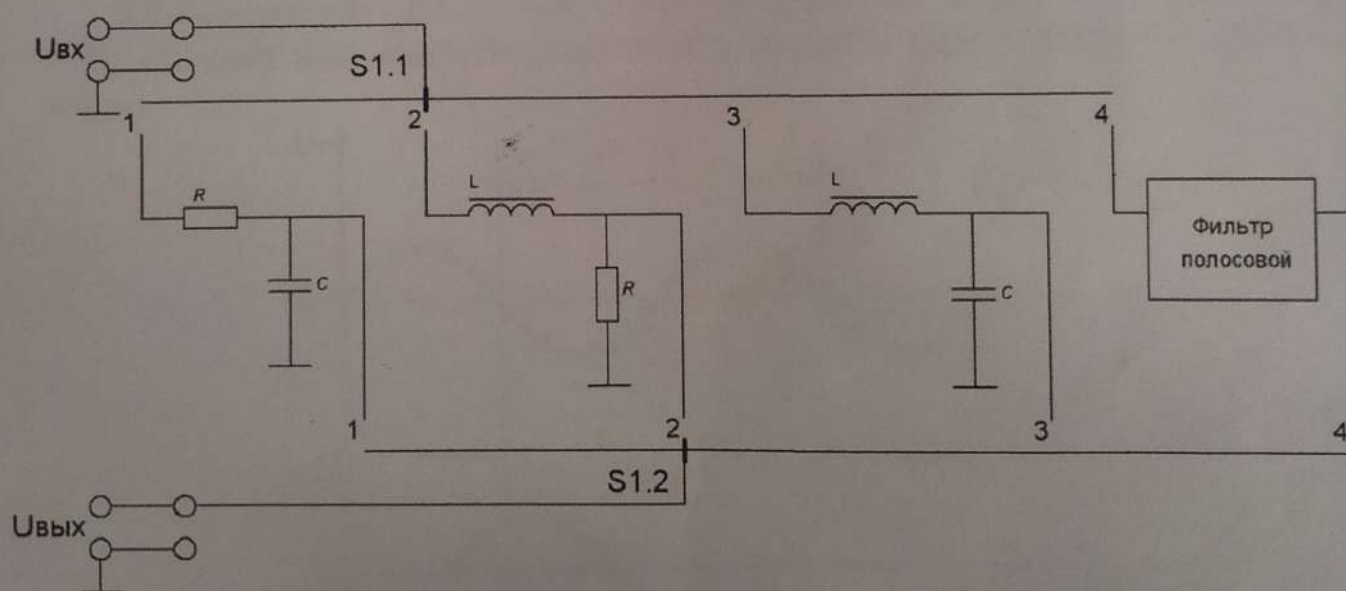


Рис.4.2. Лабораторный модуль №2

**3.5** Для выполнения пунктов 2.4 – 2.5 лабораторной работы необходимо собрать схему установки согласно рис. 4.3.

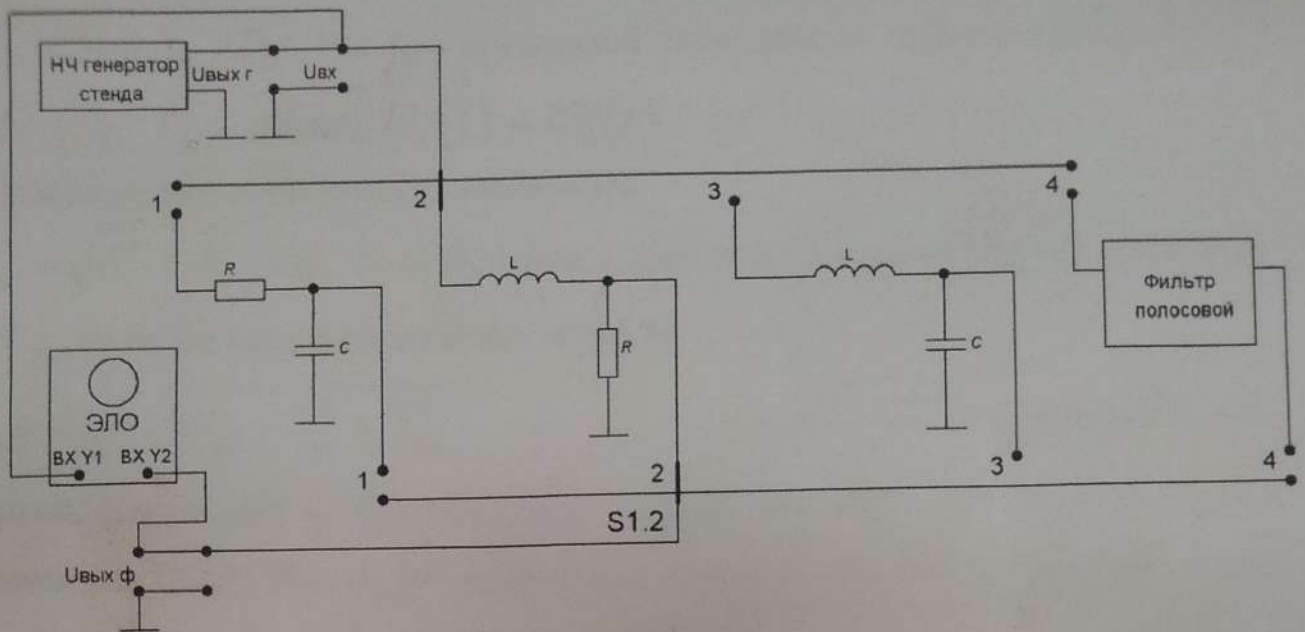


Рис. 4.3. Схема лабораторной установки для снятия фазочастотной характеристики

**3.6** Измерение фазового сдвига между входными и выходными напряжениями какого-либо устройства с помощью двулучевого осциллографа производится следующим образом.

**3.6.1** Получают на экране ЭЛО изображения двух напряжений (рис. 4.4), что даёт возможность определить фазовый сдвиг (в градусах) по формуле:

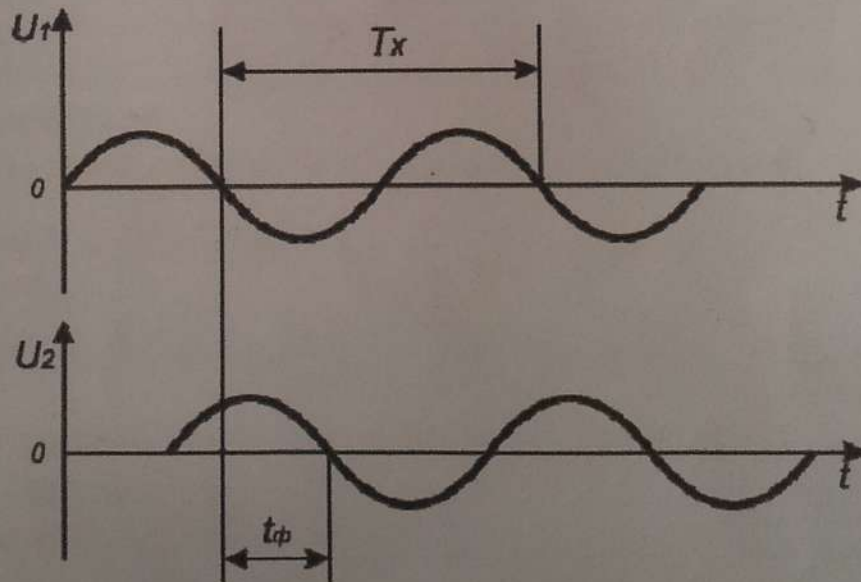


Рис. 4.4. Измерения фазового сдвига



$\varphi_X = 360 \cdot t_\phi / T_X$ , где  $t_\phi$  - временной сдвиг между напряжениями  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$ ,  $T_X$  - период  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$ .

Относительная погрешность измерения

$\delta_\phi = \sqrt{\delta_t^2 + \delta_T^2}$ , где  $\delta_t$  и  $\delta_T$  - относительные погрешности измерения  $t_\phi$  и  $T_X$ , которые определяются по формуле

$\delta_t = \delta_T = \sqrt{\delta_{KP}^2 + \delta_H^2 + \delta_{ВД}^2}$ , где  $\delta_{KP}$  - погрешность коэффициента развёртки, равная для С1-96 5%;  $\delta_H$  - погрешность нелинейности развёртки, равная для С1-96 2%;  $\delta_{ВД}$  - визуальная погрешность измерения длительности (в процентах), определяемая выражением:

$\delta_{ВД} = 100(0,4 \cdot b/l)$ , где  $b$  - толщина линии изображения на экране осциллографа;  $l$  - линейный размер изображения по оси  $X$ .

## 4 Экспериментальная часть

**4.1** Для измерения частоты периодического сигнала синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы собрать схему, показанную на рис. 4.1. Подключить приборы и стенд к сети и включить их. По электронному вольтметру установить выходное напряжение генератора не менее 2,6 В. Провести измерения частоты с помощью образцового (ЧЗ-33) и встроенного в стенд частотомера, занося данные в табл. 4.1. Время измерения  $t_1$  и  $t_2$  задаются преподавателем.

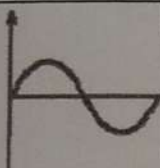
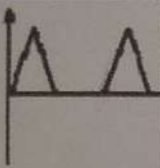
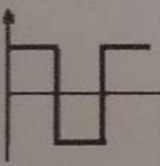
Погрешность измерения частоты определить по формуле

$$\delta_X = \frac{f_{СТ.ЧАСТ.} - f_{ЧЗ-33}}{f_{ЧЗ-33}} 100,$$

принимая показания частотомера ЧЗ-33 как образцового прибора, за истинное значение.

При измерении частоты прибором ЧЗ-33 ручка «Род Работ» должна стоять в положении «Частота». Положение ручки «Время счёта» определяется по заданию точности измерения и номиналу. Сигнал, частоту которого необходимо измерить, поступает на вход «А», проходит через аттенюатор, усилитель-формирователь. Сформированные остроконечные импульсы поступают на вход схемы «И», на другой вход которой поступают импульсы с длительностью, соответствующей времени счёта. Определённое число им-

Таблица 4.1. Измерение погрешности определения частоты

Тип сигнала	f, Гц ЧЗ-33 Показания приборов	1000		10000		50000		100000	
		$t_{изм1}$	$t_{изм2}$	$t_{изм1}$	$t_{изм2}$	$t_{изм1}$	$t_{изм2}$	$t_{изм1}$	$t_{изм2}$
	станд. част.								
	$\delta_{изм}$								
	станд. част.								
	$\delta_{изм}$								
	станд. част.								
	$\delta_{изм}$								

пульсов искомой частоты проходит в счётчик прибора ЧЗ-33. На табло «Размерность» при этом постоянно светится «kHz».

При измерении частоты  $f = 100 \text{ кГц}$  с погрешностью, например,  $10^{-6}$ , будем иметь следующее: результат измерения ЧЗ-33 должен быть представлен показателем, число значащих цифр которого

$$K \geq \lg \frac{1}{\delta} = 6, \text{ следовательно, } N \geq 10^6, \text{ при этом время счёта:}$$

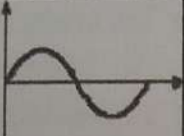
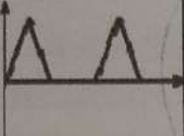
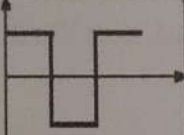
$$T_{от} = T_x \cdot N = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6 = 10 \text{ с}.$$

На индикаторе прибора запятая будет располагаться между 4-м и 5-м разрядами.

4.2 Измерить длительность и период тех же сигналов, используя схему рис. 4.1, установив частоту генератора 10 кГц, а время измерения 10 мкс и 1с. Результаты эксперимента занести в табл. 4.2.



**Таблица 4.2. Измерение длительности и периода сигналов**

Тип сигнала	Параметры измерения					
	$f_{ИЗМ} = 10\text{кГц}, t_{ИЗМ} = 10\text{мс}$			$f_{ИМ} = 10\text{кГц}, t_{ИМ} = 1\text{с}$		
	ЧЗ-33	Частотомер стенда	$\delta_{ИЗМ}$	ЧЗ-33	Частотомер стенда	$\delta_{ИЗМ}$
						
						
						

При измерении периода и длительности импульсов положение переключателей рода работ, ручек регулировки и соединительных кабелей должно соответствовать указаниям технического описания и руководства по эксплуатации приборов.

**4.3** Определить нестабильность частоты встроенного генератора для синусоидального сигнала частотой  $f = 10\text{ кГц}$ .

**4.3.1** Измерения проводить по схеме рис. 4.1.

**4.3.2** Установить выходное напряжение генератора 3 В частотой 10 кГц.

**4.3.3** Провести 20 измерений частоты частотомером ЧЗ-33 с интервалом времени 15 с. Результаты занести в табл. 4.3.

**Таблица 4.3. Измерение частоты**

показания ЧЗ-33 \ № отсчёта	1	2	...	20
ЧЗ-33				
$\delta_{ИЗМ}$				

**4.3.4** Оценка нестабильности частоты генератора осуществляется по значению погрешности  $\delta_{\text{ИЗМ}}$ , найденной по рекомендованной в техническом описании. Показания частотомера ЧЗ-33 принимаются за показания образцового прибора.

**4.4** Определить фазовый сдвиг между напряжениями синусоидальной формы на входе и выходе фазосдвигающего устройства с помощью двухлучевого осциллографа. Для проведения эксперимента собрать схему в соответствии с рис. 4.3. Номер исследуемого варианта указывает преподаватель.

**4.4.1** Установить на выходе генератора напряжение  $U = 3 \text{ В}$ ,  $f = 1000 \text{ Гц}$  и измерить фазовый сдвиг  $\varphi$  согласно рекомендациям п. 3.6.1. Меняя частоту выходного сигнала в диапазоне  $1000 \text{ Гц} - 100 \text{ кГц}$ , провести измерения  $\varphi$  и данные занести в табл. 4.4.

**Таблица 4.4. Измерение фазового сдвига**

$\varphi, ^\circ \backslash f, \text{ Гц}$	$10^3$	$5 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
$\varphi_{\text{ИЗМ}}$					
$\Delta\varphi$					

**4.4.2** Погрешность измерения фазового сдвига определяется по рекомендациям п. 3.6.1.

**4.5** Снять фазочастотную характеристику полосового фильтра и построить график зависимости фазового сдвига от частоты. Схема и порядок эксперимента соответствуют п. 4.4.1.

## 5 Требования к отчёту

Отчёт должен содержать:

- Краткое задание.
- Спецификацию применённых средств измерения и их краткие технические характеристики.
- Схемы включения.
- Результаты измерения, примеры расчёта и графики.
- Выводы по полученным результатам.



## 6. Контрольные вопросы

1. Какова будет абсолютная погрешность при измерении частоты частотомером ЧЗ-33 (1000, 50000, 100000 Гц)?
2. Как связана заданная точность измерения частоты с количеством значащих цифр на блоке индикатора?
3. Как связаны между собой время счёта, время индикации и время измерения?
4. Чем ограничивается точность измерения длительности коротких импульсов?
5. Объясните нониусный принцип действия измерителя временных интервалов.
6. Объясните работу цифрового частотомера при измерении:
  - частоты;
  - периода;
  - интервала времени;
  - отношения частот.
7. Что такое ошибка квантования? Почему она называется методической?
8. Назовите составляющие инструментальной погрешности цифрового частотомера.
9. Можно ли использовать цифровой частотомер в режиме счёта импульсов? В режиме делителя импульсов? Как?
10. Что такое чувствительность частотомера? От чего она зависит? Как её измерить?
11. От чего зависит основная относительная погрешность измерения:
  - частоты  $\delta_f$ ;
  - периода  $\delta_T$ ;
  - отношения частот  $\delta_{fB} / \delta_{fH}$ ;
  - интервалов времени  $\delta_H$ ?
12. Как изменится величина погрешности квантования при измерении частоты, если время измерения увеличить в 10 раз?
13. Как изменится величина погрешности квантования при изменении длительности импульса, если частота квантующих импульсов уменьшится в 10 раз?
14. Какой порядок имеет погрешность измерения фазового сдвига ЭЛО?

## Список литературы

1. Кушнир, Ф.В. Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для вузов / Ф.В. Кушнир. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1983. - 320с.
2. Атамалян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э.Г. Атамалян. - М.: Высш. шк., 1989.
3. ЧЗ-33. – Частотомер электронносчётный. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
4. Метрология и радиоизмерения: учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Ханин, В.К. Бирюков [и др.]; под ред. проф. В.И. Нефёдова. – М.: Высш. шк., 2003. - 526с