

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 3-4 по дисциплине «Метрология,  
стандартизация и технические измерения» и «Метрология,  
стандартизация и сертификация» для студентов направления  
11.03.03 «Конструирование и технология электронных  
средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм  
обучения



Воронеж 2021

УДК 621.317.08

**Составители:**

канд. техн. наук А.С. Самодуров

Методические указания к лабораторным работам № 3-4 по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» и «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.С. Самодуров. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 37 с.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов при подготовке к индивидуальным и лабораторным занятиям по дисциплине. Предназначены для студентов второго курса обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в электронном виде и содержатся в файле **МСТИ\_ЛР3-4.doc**

Табл. 11. Ил.16. Библиогр.: 9 назв.

**УДК 621.317.08**

**Рецензент -** О. Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.  
кафедры конструирования и производства  
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторные работы № 3 и 4, описания которых приведены в настоящем методическом руководстве, является продолжением лабораторного практикума по курсу "Метрология, стандартизация и технические измерения" и посвящены измерению основных параметров электро и радио сигналов: постоянного и переменного напряжений и тока (работа № 3); частоты и фазы (работа № 4).

При подготовке к выполнению настоящих работ рекомендуется использовать учебники:

Тартаковский Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст] : учеб. для ВУЗов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высш. шк., 2002. – 205 с.

Муратов А.В. Метрология, стандартизация и технические измерения [Текст] : учеб. пособие / А.В. Муратов, М.А. Ромащенко. Воронеж: ВГТУ, 2007. – 255 с.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

#### **ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ**

Цель работы:

Целями настоящей работы являются освоение методов измерения постоянных и переменных токов и напряжений; изучение приборов для измерения токов и напряжений их метрологических характеристик, приобретение навыков работы с ними.

Работа заключается в изучении различных факторов, определяющих методические погрешности при измерении постоянных и переменных токов и напряжений методом непосредственной оценки, сопоставлении результатов с

погрешностями, получаемыми при измерении методом сравнения.

Измерения проводятся как с использованием прямопоказывающих приборов, так и с помощью осциллографа, которые входят в состав измерительного стенда [2].

## **1. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

Для теоретической подготовки к выполнению работ необходимо проработать задания приведенные ниже. При подготовке заданий необходимо воспользоваться материалом данным в заданиях, конспектом лекций и материалом содержащимся в учебных пособиях [4] и [5]. Допускается в отдельных случаях, по усмотрению преподавателя, студентам вечерней и заочной форм обучения ограничиться изучением материала методических указаний.

1.1. Задание первое – Провести анализ методов измерения напряжения и тока. При подготовке домашнего задания основное внимание следует обратить на классификацию основных методов измерения напряжения и тока, условия включения амперметра и вольтметра для обеспечения минимальных методических погрешностей, параметры измеряемых напряжений и токов.

Методические указания к заданию.

Метод непосредственной оценки осуществляется с помощью прямопоказывающих приборов – амперметров и вольтметров со шкалами, градуированными в единицах измеряемой величины.

Включение амперметра или вольтметра в цепь изменяет

измеряемую величину. Это изменение вызвано тем, что сопротивление амперметра не равно нулю, а вольтметра не равно бесконечности. Поэтому даже при идеально точных приборах результат измерения отличается от того значения измеряемой величины, какое имело место до включения прибора.

Для уменьшения влияния прибора на режим цепи необходимо выполнить следующее условие: внутреннее сопротивление амперметра  $R_A$  должно быть много меньше сопротивления нагрузки  $R_H$ , внутреннее сопротивление вольтметра  $R_V$  должно быть существенно больше сопротивления нагрузки (рис. 1). Невыполнение этих условий приводит к систематической методической погрешности, которая приблизительно совпадает со значениями отношения  $R_A/R_H$  и  $R_H/R_V$ .

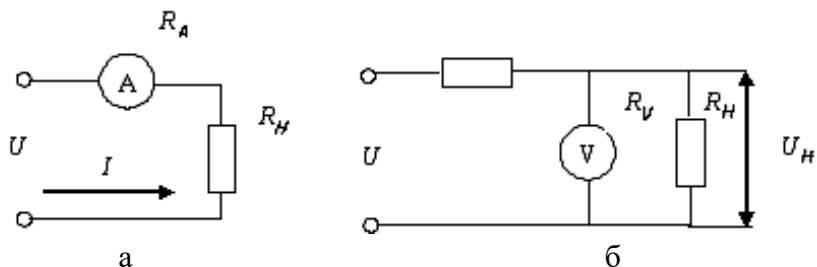


Рис. 1. Схемы измерения методом непосредственной оценки: а – тока; б – напряжения

Методическая погрешность измерений, вызываемая включением измерительных приборов в цепь, определяется по формуле:

$$\gamma_x = \frac{x_2 - x_1}{x_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где,  $x_1$  и  $x_2$  - значения измеряемой величины, соответственно до и после включения приборов в цепь.

При измерении тока и напряжения методическая погрешность тем больше, чем больше потребляемая приборами мощность  $P_A = R_A I^2$ ,  $P_V = \frac{U^2_H}{R_V}$  по сравнению с мощностью исследуемой цепи ( $P = IU$ ).

Условие  $R_V \gg R_H$  на участках цепей с большим сопротивлением удается выполнить, используя электронные вольтметры с входным сопротивлением до сотен МОм.

Измерение постоянного тока выполняют с меньшими погрешностями, чем переменного. С повышением частоты погрешности увеличиваются.

Метод сравнения обеспечивает более высокую точность измерения. Его осуществляют с помощью приборов – **компенсаторов**, отличающихся тем свойством, что в момент измерения мощность от измеряемой цепи не потребляется,  $I_V = 0$  т. е. входное сопротивление практически бесконечно. Это свойство позволяет применить компенсаторы для измерения электродвижущей силы источника (ЭДС). Метод сравнения реализуется также в цифровых вольтметрах, благодаря чему погрешности измерения составляют десятые, сотые и даже тысячные доли процента. Суть метода состоит в уравнивании (компенсации) неизвестного напряжения  $U$  или ЭДС  $E_x$  известным падением напряжения  $U_k$  на образцовом сопротивлении  $R_o$ .

1.2. Задание второе – Рассмотреть классификацию и особенности использования амперметров с электромеханическими измерительными механизмами; основные варианты построения структурных схем электронных вольтметров.

Методические указания к заданию.

При подготовке второго задания следует изучить соответствующий раздел учебного пособия [6, с. 68-84]. При этом необходимо учесть, что весь класс приборов для измерения тока и напряжения разделяется на два подкласса: механические и электрические. К ним предъявляются следующие требования: *стабильность градуировки шкалы, требуемая точность измерений, известная зависимость показаний от формы измеряемых токов и напряжений, большое входное сопротивление у вольтметров и малое у амперметров, малая зависимость показаний от частоты у широкополосных приборов, высокая селективность избирательных вольтметров.*

1.3. Задание третье – Ознакомиться с технической документацией (ТО и ИЭ) к приборам, которые используются в данной работе впервые: источник постоянного напряжения, электронному цифровому вольтметру. Документацию можно получить в лаборатории МСТИ у лаборанта или ведущего преподавателя во время, выделенное для самостоятельной работы.

Методические указания к заданию.

При ознакомлении с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации на приборы, которые используются при проведении лабораторных работ впервые, следует проработать следующие разделы: назначение, технические данные. В разделе: устройство и принцип работы ознакомиться со структурной схемой прибора и функциональным взаимодействием составных частей прибора, назначением органов управления. Структурные схемы указанных приборов привести в отчете по лабораторной работе.

Студенты вечерней и заочной форм обучения должны проанализировать возможность использования иных измерительных приборов и средств измерения, используемых ими в практической деятельности.

1.4. Задание четвертое – Составьте схему для измерения ЭДС источника постоянного тока компенсационным методом, используя приборы измерительного стенда и пульт коммутации. Напишите выражение для относительной систематической погрешности измерения напряжения компенсационным методом.

Методические указания к заданию.

При подготовке отчета по четвертому домашнему заданию следует воспользоваться материалом, изложенном в пособии [4, с. 79-81].

При записи выражения относительной систематической погрешности воспользоваться правилом суммирования систематических погрешностей [6, с. 32]. При вычислении систематической погрешности измерений напряжения косвенным методом приняв погрешность образцового сопротивления 0.1%, класс используемого амперметра и гальванометра соответственно 0,2 и 0,03.

1.5. Задание пятое – Провести анализ особенностей измерения токов и напряжений переменной формы.

Методические указания к заданию.

При подготовке задания следует изучить соответствующий раздел учебного пособия [6, с. 63-65].

При анализе следует ограничиться стандартными формами: синусоидальной, треугольной, меандр, основные соотношения и рисунки для которых привести в отчете по



лабораторной работе.

Переменный ток синусоидальной формы характеризуется мгновенным, среднеквадратическим (действующим) значениями, амплитудой и фазой (2):

$$\begin{aligned}i &= I_M \sin(\omega t + \varphi) \\u &= U_M \sin(\omega t + \varphi)\end{aligned}\quad (2)$$

Мгновенное значение  $i$  или  $u$  наблюдают на экране осциллографа, среднеквадратическое значение измеряется соответственно амперметром или вольтметром, амплитуда обычно вычисляется по измеренному среднеквадратическому значению либо с помощью осциллографа; измерение фазы изложено в методических указаниях к лабораторной работе № 4.

Амплитудой напряжения  $U_M$  называют максимальное значение из всех мгновенных значений синусоидального изменения за период или полупериод. Среднеквадратическое (действующее) значение определяется как корень квадратный из среднего за период квадрата мгновенных значений:

$$U_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \cdot \quad (3)$$

Подставив (2) в формулу (3), получим

$$U_D = U_M / \sqrt{2} = U_M / 1.41 \approx 0.7 U_M.$$

Связь между амплитудой и среднеквадратическим значением при любой форме мгновенных значений определяется формулой:

$$U_D = U_M / K_A, \quad (4)$$

где  $K_A$  - коэффициент амплитуды, для синусоидального напряжения  $K_A = \sqrt{2} = 1,41$ .

В практике измерений применяют средневыпрямленное значение, которое определяется как среднее арифметическое

абсолютных мгновенных значений за период:

$$U_{CB} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt, \quad (5)$$

Средневыпрямленное и действующее значение напряжения связаны между собой через коэффициент формы:

$$U_{CB} = U / K_\phi, \quad (6)$$

Для синусоидального напряжения  $K_\phi = 1,11$ .

Подставив в формулу (6) формулу (4), получим связь между средневыпрямленным значением и амплитудой:

$$U_{CB} = U_m / (K_A \cdot K_\phi). \quad (7)$$

Для синусоидальной формы кривой

$$U_{CB} = U_m / (1,41 \cdot 1,11) = 0,636.$$

В радиотехнике наряду с сигналами синусоидальной формы используются и другие, несинусоидальные сигналы (рис. 2). Такие сигналы характеризуются максимальными (пиковыми) значениями из всех мгновенных значений в положительной или отрицательной полуволнах  $U_{m+}$  и  $U_{m-}$  - среднеквадратическим (действующим), средневыпрямленным и средним значением, часто называемой постоянной составляющей.

Среднее значение напряжения равно среднеарифметическому всех мгновенных значений за период:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u dt. \quad (8)$$

Среднеквадратическое значение несинусоидального напряжения определяется по формуле (3) или путем разложения в ряд Фурье. Средневыпрямленное значение находят по формуле (5), а максимальное по формулам (4) и (7).

Для некоторых, часто используемых форм напряжения, коэффициенты амплитуды и формы вычислены. Например,

для треугольной формы  $K_A = \sqrt{3} = 1,73$ ;  $K_\phi = 1,16$ , для меандра  $K_A = K_\phi = 1$  (рис. 2). В зависимости от системы прибора, режима работы преобразователя и градуировки шкалы его показания могут соответствовать действующему, средневыпрямленному или амплитудному (пиковому) значению тока или напряжения.

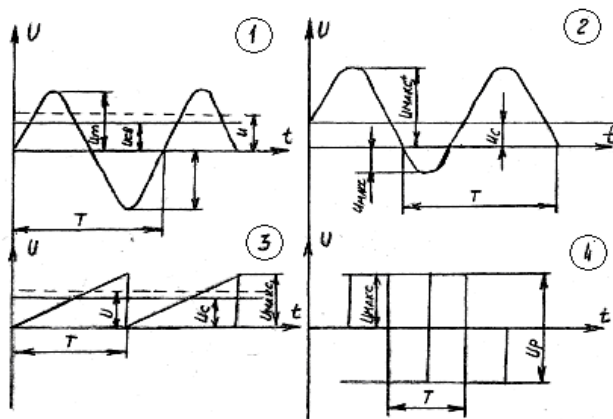


Рис. 2. Формы кривых переменного напряжения: 1 – синусоидальная; 2 – несинусоидальная (например, пульсация источников напряжения); 3 – треугольная; 4 – меандр

## 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание первое - Определить методические погрешности измерения тока и напряжения

Методические указания к заданию.

Для определения методической погрешности измерения тока (1) использовать схему рис. 3.

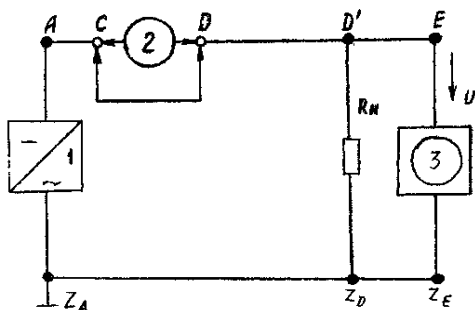


Рис. 3. Схема для определения методической погрешности измерения тока: 1 – блок питания; 2 – исследуемый амперметр; 3 – аналоговый электронный вольтметр

Измерения произвести следующим образом.

Замкнуть переключкой зажимы C - D и вращением ручки регулировки напряжения из крайнего левого положения вправо установить показания вольтметра 3 в пределах  $U_1 = 0,3 \div 0,4B$ . Ток, протекающий через резистор  $R_H$ , определяется выражением:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_H},$$

где  $U_1$  - показания вольтметра 3.

Разомкнуть зажимы C - D и подключить к ним амперметр (прибор 2 на пределах измерения силы постоянного тока 0.3 и 1 мА). Включение в цепь амперметра вызывает уменьшение тока нагрузки до значения:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_H},$$

где  $U_2$  - показания вольтметра 3 после включения в цепь амперметра 2.

Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты определения методической погрешности  
измерения тока

Предел измерения $I_H$ , мА	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$I_1$ , мА	$I_2$ , мА	$\gamma$ , %
0.3					
1.0					

Для определения методической погрешности измерения напряжения (3.1) собрать схему (рис. 4). Для определения методической погрешности измерения напряжения выполнить следующее.

При разомкнутых зажимах  $C - Z_c$ , вращением ручки регулировки напряжения из крайнего левого положения вправо установить показания вольтметра 3 в пределах  $U_1 = 0,8 - 1,0$  В.

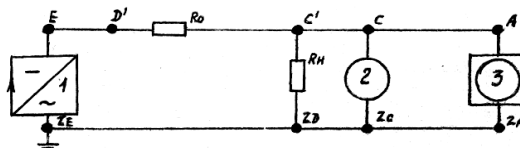


Рис. 4. – Схема для определения методической погрешности измерения напряжения: 1 – блок питания; 2 – исследуемый вольтметр; 3 – аналоговый электронный вольтметр

Подключить к зажимам  $C - Z_c$  вольтметр 2 (прибор – на пределе измерения постоянного напряжения 1 В) и записать показания вольтметра 3.

Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты определения погрешности измерения напряжения

Предел измерения $U_H$ , В	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$\gamma$ , %

## 2.2. Задание второе – Снять амплитудно-частотную характеристику вольтметров электромагнитной и выпрямительной систем

Методические указания к заданию.

Как отмечено в разделе 1.2. амперметры и вольтметры переменного тока предназначены для измерения на определенной частоте или в определенном диапазоне частот. Отклонение частоты тока или напряжения от значений, на которое прибор рассчитан, может вызвать заметное изменение его показаний.

В работе требуется снять амплитудно-частотную характеристику вольтметров электромагнитной и выпрямительной систем по схеме рис. 5. Предел измерения переменного напряжения - 10 В. Амплитудно-частотной (далее частотной) характеристикой прибора называется зависимость его показаний от частоты при неизменном значении измеряемой величины (тока или напряжения).

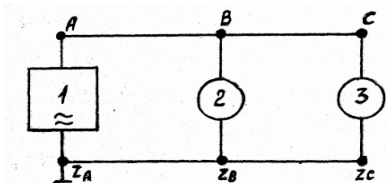


Рис. 5. Схема для снятия частотной характеристики вольтметров: 1-низкочастотный генератор; 2-вольтметр электромагнитной системы; 3-вольтметр выпрямительной системы

В качестве образцового прибора, показания которого в заданном диапазоне практически не зависят от частоты, использовать электронный вольтметр низкочастотного генератора. Характеристику снимают в диапазоне частот 20-20000 Гц. При перестройке частоты генератора 1 показания образцового прибора (4-5 В) необходимо поддерживать

постоянным с помощью ручки РЕГ. ВЫХОДА генератора. Результаты измерений заносят в таблицу 3, по данным которой строят график частотной характеристики.

Таблица 3

Результаты измерения частотной характеристики

$f$ , Гц	20	50	100	200	300	500	1000	5000	10000	20000
Показания прибора 2										
Показания прибора 3										

2.3. Задание третье – Произвести поверку вольтметра переменного тока

Методические указания к заданию.

В качестве поверяемого прибора использовать аналоговый электронный вольтметр. В качестве образцового прибора использовать электронный цифровой вольтметр.

Поверку производить на всех числовых отметках шкалы поверяемого прибора в диапазоне, указанном преподавателем. По данным поверки вычислить абсолютную и основную приведенную погрешность.

Под поверкой измерительного прибора понимается совокупность действий по установлению его исправности и определению погрешностей.

В данной работе поверка вольтметров производится сличением показаний образцового и поверяемого приборов. Возможна поверка прибора путем измерения эталонных значений напряжения.

При поверке вольтметра переменного тока используется схема рис. 6.

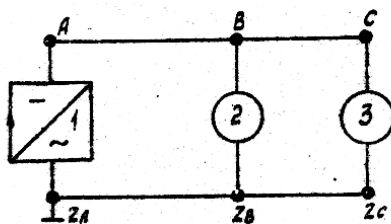


Рис. 6. Схема поверки вольтметра: 1 – низкочастотный генератор; 2 - поверяемый вольтметр; 3 - образцовый вольтметр

С помощью низкочастотного генератора устанавливают стрелку поверяемого прибора на числовые отметки шкалы дважды при увеличении и уменьшении показаний; при этом подводить стрелку к отметкам шкалы следует без перехода отметки, соблюдая направление изменения показаний.

Результаты измерений сводят в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты поверки вольтметра

Показания поверяемого прибора	Показания образцового прибора		Абсолютная погрешность, $\Delta$	Приведенная погрешность, $\gamma$
	При увеличении	При уменьшении		

Абсолютная (наибольшая) погрешность прибора в данной точке шкалы определяется по формуле  $\Delta = x_n - x_0$ , где  $x_n$  - показания поверяемого прибора;  $x_0$  - показания образцового прибора. Приведенная погрешность поверяемого прибора

$$\gamma = \frac{\Delta}{(x_n)_{\max}} \cdot 100\%,$$

где  $(x_n)_{\max}$  - максимальное значение измеряемой величины для данного предела измерений поверяемого прибора.



2.4. Задание четвертое – Исследовать влияние формы кривой напряжения на показания вольтметров электромагнитной и выпрямительной систем

Методические указания к заданию.

Электромагнитные вольтметры измеряют действующее  $U_D$ , выпрямительные – среднее  $U_{cp}$  и электронные вольтметры с амплитудным детектором – пиковое  $U_n$  значения переменного напряжения.

Однако шкалы вольтметров переменного тока градуируют в действующих значениях синусоидального напряжения. Отсюда следует, что при несинусоидальной форме кривой измеряемого напряжения в показания выпрямительного и электронного с амплитудным детектором вольтметров вкрадывается погрешность.

При выполнении работы электромагнитный - 3, выпрямительный - 4 и электронный - 5 вольтметры первоначально подключают непосредственно к выходу низкочастотного генератора 1, настроенного на частоту 50 Гц (рис. 7).

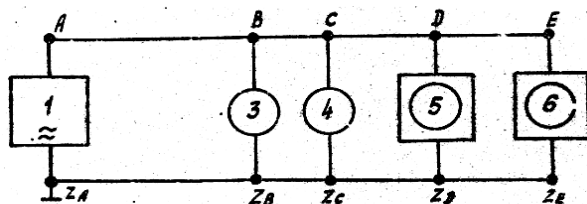


Рис. 7. Схема непосредственного подключения вольтметров к генератору: 1 - генератор низкочастотный; 3 - вольтметр электромагнитной системы; 4 - вольтметр выпрямительной системы; 5 - аналоговый электронный вольтметр; 6 – осциллограф

Синусоидальность формы кривой измеряемого напряжения контролируют осциллографом 6. Показания вольтметров, которые должны быть примерно одинаковыми (5В), заносят в первую строку таблицы 5.

Таблица 5

Результаты измерения напряжений

Подключение вольтметров к генератору	Показания вольтметров			Коэффициент	
	3	4	5	$K_\phi$	$K_A$
Непосредственное sin					
Через преобразователь 					

Затем в схему между генератором и вольтметром включают преобразователь синусоидального напряжения в меандр 2 (рис. 8).

При наличии указанной формы напряжения в генераторе преобразователь не используется. Новые показания вольтметров заносят во вторую строку таблицы 5.

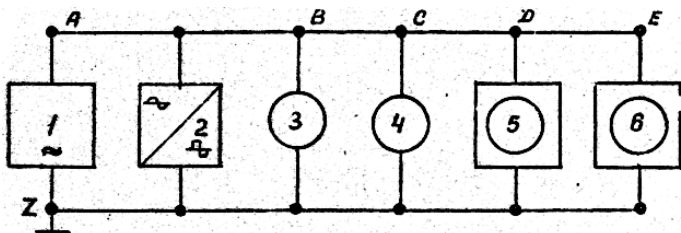


Рис. 8. Схема подключения вольтметров к генератору через преобразователь

По результатам измерений дать объяснение разности показаний в первом и втором случаях.

2.5. Задание пятое – Определить коэффициент отклонения на постоянном токе (статический режим) осциллографа (К В/дел). Определить коэффициент отклонения на переменном токе (динамический режим) осциллографа

Методические указания к заданию.

В качестве источника постоянного напряжения используется регулируемый блок питания, а в качестве образцового прибора цифровой вольтметр.

Целью измерений является установление соответствия между измеренными значениями коэффициентов отклонения и значениями, указанными в техническом описании. Последние соответствуют положению переключателя ВОЛЬТ/ДЕЛ. Для измерения коэффициента отклонения используется схема рис. 2.7. При измерении использовать открытый вход осциллографа. Перед поверкой линию развертки необходимо установить на нулевой уровень.

Измерения производятся при различных отклонениях луча по вертикали. Отклонение луча по вертикали устанавливается в делениях  $N$ , величина напряжения  $U$ , соответствующая установленному отклонению, измеряется цифровым вольтметром. Результаты измерений сводятся в таблицу 6.

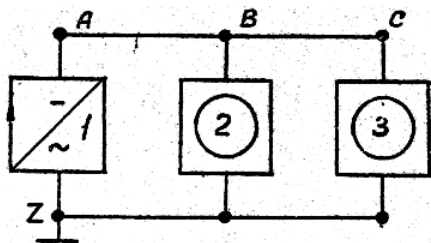


Рис. 9. Схема измерений: 1 – регулируемый источник напряжения постоянного тока; 2 – цифровой вольтметр; 3 – осциллограф

Коэффициент отклонения вычисляется по формуле

$$K = \frac{U}{N}.$$

Относительная погрешность вычисляется по формуле

$$\delta_0 = \frac{K - K_H}{K_H} \cdot 100\%.$$

где  $K_H$  - номинальное значение коэффициента отклонения соответствует положению переключателя ВОЛЬТ/ДЕЛ.

Таблица 6

Результаты измерений коэффициента отклонения

$N$ , дел.	1	2	3
$U$ , В			
$K$ , В/дел			
$\delta_0$ , %			

Проверку коэффициента отклонения на переменном токе провести по измерительной схеме, представленной на рис. 10.

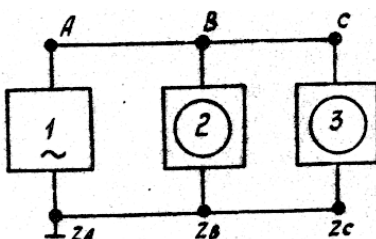


Рис. 10. Схема измерений: 1 - высокочастотный генератор; 2 – милливольтметр (цифровой вольтметр); 3 - осциллограф

Измерения проводятся аналогично проверке на постоянном токе. Произвести вычисление коэффициентов

отклонений для частот 200 кГц, 1 МГц, 5 МГц, определить относительную погрешность, сравнить результаты с измерениями в статическом режиме.

Результаты эксперимента свести в таблицу 7. При вычислении коэффициента отклонения необходимо помнить, что шкала милливольтметра градуирована в эффективных значениях.

Таблица 7

Результаты измерений коэффициента отклонения на переменном токе

$f$ , МГц		$N$ , дел.		
		1	2	3
$U$ , В	0.2			
	1.0			
	5.0			
$K$ , В/Дел	0.2			
	1.0			
	5.0			
$\delta_0$ , %	0.2			
	1.0			
	5.0			

2.6. Задание шестое – Произвести измерение амплитуды пульсации напряжения источника питания. По полученным экспериментальным результатам определить коэффициент пульсаций.

Методические указания к заданию.

Измерения произвести в соответствии со схемой рис. 2.7, исключив цифровой вольтметр. При измерении использовать закрытый вход осциллографа, напряжение источника питания установить в пределах 2-5 В, используя открытый вход осциллографа.

Вычислить значение коэффициента пульсаций по формуле

$$K_{II} = \frac{U_{\sim}}{U_{=}} \cdot 100\%$$

где  $U_{\sim}$  - амплитуда напряжения пульсаций, измеренная с помощью осциллографа;  $U_{=}$  - амплитуда постоянного напряжения.

Значения  $U_{\sim}$  и  $U_{=}$  записать в соответствии с ГОСТ 8.011-072.

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ОТЧЕТУ

1. Какие основные методы используются для измерения тока и напряжения? Приведите схемы измерений тока и напряжения.

2. Назовите условия снижения систематических ошибок при измерении тока и напряжения прямым и компенсационным методами

3. Как определяется методическая погрешность измерения, вызванная включением измерительных приборов в цепь? От чего она зависит?

4. Измерение какого тока, переменного или постоянного, производится с меньшими погрешностями? Почему? Как влияет частота на погрешность измерения?

5. За счет чего метод сравнения обеспечивает более высокую точность измерения?

6. Какие характерные требования предъявляются к приборам для измерения тока и напряжения?

7. Какими параметрами (значениями) характеризуются синусоидальное напряжение и ток?

8. Приведите соотношения, связывающие параметры синусоидального сигнала.

9. Какими параметрами характеризуются несинусоидальное напряжение и ток?

10. Какие электромеханические измерительные приборы пригодны для измерения постоянного тока, переменного тока? Их достоинства и недостатки.

11. Приведите основные структурные схемы электронного вольтметра постоянного и переменного тока и укажите их особенности.

12. Изобразите обобщенную структурную схему электронного цифрового вольтметра.

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями СТП ВГТУ. Отчет должен содержать: структурные схемы измерительных приборов, впервые используемых в данной работе; схемы измерений; результаты измерений и расчетов, занесенные в соответствующие таблицы; выводы по каждому лабораторному заданию и быть оформлен, как указано в соответствующем разделе лабораторной работы № 1. В выводах по работе дать сравнение погрешностей, получаемых при измерении напряжения методом непосредственной оценки и методом сравнения.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

#### **ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ И ФАЗЫ**

Цель работы:

Целью настоящей работы является изучение методов измерения частоты и фазовых сдвигов гармонических сигналов, приобретение практических навыков проведения измерительного эксперимента, анализ точности измерения

частоты и фазы различными методами.

Работа заключается в овладении различными методами измерения частоты и фазового сдвига гармонических сигналов, а также в изучении различных факторов, определяющих методические погрешности при указанных измерениях.

## **1. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ**

Для теоретической подготовки к выполнению работ необходимо проработать задания приведенные ниже. При подготовке заданий необходимо воспользоваться материалом данным в заданиях, конспектом лекций и материалом содержащимся в учебных пособиях [6] и [7]. Допускается в отдельных случаях, по усмотрению преподавателя, студентам вечерней и заочной форм обучения ограничиться изучением материала методических указаний.

1.1. Задание первое – Изучить методы измерения частоты и временных интервалов

Методические указания к заданию.

Данный вопрос следует изучить по учебному пособию [6; с.111-118], при этом можно ограничиться следующим материалом.

Спектр частот электромагнитных колебаний, используемых в радиотехнике, простирается от долей герц до тысячи гигагерц. Этот спектр разделяют на два диапазона - низких и высоких частот. К низким частотам относят инфразвуковые (ниже 20 Гц), звуковые (20-20000 Гц) и ультразвуковые (20-200 кГц). Высокочастотный диапазон, в свою очередь, разделяют на высокие частоты (200 кГц-30



МГц), ультравысокие (30-300 МГц) и сверхвысокие (выше 300 МГц).

В радиотехнической практике чаще всего измеряют частоту  $f$ , период  $T$  и длину волны  $\lambda$ . При этом  $f = \frac{1}{T}$ ;  $f \cdot \lambda = c$ , где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с скорость света. Измерение частоты выполняется с наибольшей точностью по сравнению с другими видами радиоизмерений, поэтому многие физические величины, подлежащие измерению, преобразуют во временные или частотные для последующего точного измерения.

В зависимости от участка спектра и требуемой точности применяют различные методы измерения частоты. Наиболее распространенными являются: *метод перезаряда конденсатора, резонансный метод, метод сравнения (осциллографический и гетеродинный)* и *метод дискретного счета*.

На основе методов перезаряда конденсатора и дискретного счета созданы прямопоказывающие приборы - конденсаторные частотомеры и электронно-счетные (цифровые) частотомеры. Метод сравнения является трудоемким, так как требует обработки полученных данных. Частотомеры, основанные на резонансном методе, в настоящее время заменяются цифровыми частотомерами.

Погрешность измерения частоты задается в абсолютном значении  $\Delta f = f_x - f_0$  или, чаще, в относительном  $\delta = \Delta f / f_x \approx \Delta f / f_0$ , где  $f_x$  и  $f_0$  - значения измеряемой и образцовой частот соответственно. Допустимая погрешность определяется возможностями применяемого метода и составляет при измерении:

методом перезаряда конденсатора	- 1-2 %;
резонансным методом	- $10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$ %;

методом сравнения  $- 10^{-4} - 10^{-6} \%$ ;  
методом дискретного счета  $- 10^{-6} - 10^{-9}$  и меньше.

1.2. Задание второе – Изучить техническую документацию к прибору (ТО и ИЭ), впервые используемому в настоящей работе, техническое описание и инструкцию по эксплуатации импульсного генератора

Методические указания к заданию.

При ознакомлении с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации следует проработать следующие разделы: назначение, технические данные. В разделе "Устройство и принцип работы" ознакомиться со структурной схемой прибора и функциональным взаимодействием составных частей прибора, назначением органов управления. Структурную схему внести в отчет по лабораторной работе.

Особое внимание при этом следует обратить на технические данные, возможные пределы изменения временных интервалов (частот следования) и длительностей импульсов, а также влияние составных частей прибора на основные погрешности.

1.3. Задание третье – Рассчитать относительную погрешность измерения частоты и периода методом дискретного счета, полагая  $f_{x1} = 10^2 \text{ Гц}$ ,  $f_{x2} = 10^5 \text{ Гц}$  ( $f_{x1}$ ,  $f_{x2}$  - измеряемые частоты), частота кварцевого генератора  $f_K = 10^6 \text{ Гц}$ , относительная суточная нестабильность  $\delta_K = 10^{-8}$ , длительность калиброванного импульса (время счета)  $\tau_H = 0,1 \text{ с}$

Методические указания к заданию.

Суммарная относительная погрешность при измерении частоты электронно-счетными частотомерами складывается из относительной нестабильности кварцевого генератора и погрешности дискретного счета (абсолютная погрешность дискретного счета равна  $\pm 1$  счета младшего разряда)

$$\delta_0 = \delta_K + \frac{1}{f_X \cdot \tau_{II}}. \quad (1)$$

Суммарная относительная погрешность при измерении периода определяется соотношением

$$\delta_0 = \delta_K + \frac{1}{f_K \cdot T_X}, \quad (2)$$

где,  $T_X = 1/f_X$ .

Используя приведенные соотношения, вычислить относительные погрешности измерения частоты и периода при заданных значениях. Результаты расчетов занести в отчет по лабораторной работе. Сделать заключение о том, в каких случаях целесообразно пользоваться режимом измерения частоты  $f_A$  или периода  $T_B$ .

1.4. Задание четвертое – Рассчитать относительную погрешность измерения частоты резонансным методом, полагая  $f_X = 1,0$  МГц, добротность прецизионного измерительного контура  $Q = 100$ , а напряжение резонанса фиксируется с помощью милливольтметра с допускаемой относительной основной погрешности  $\pm 2,5\%$  (например, ВЗ-56)

Методические указания к заданию.

Погрешность измерения резонансным методом зависит от многих параметров и характеристик, главные из которых следующие: значение добротности измерительного контура,

точность его настройки в резонанс, температура и влажность окружающего воздуха, точность градуировки шкалы, ширина диапазона измеряемых частот.

Основную относительную погрешность с первой степенью приближения вычислить по формуле

$$\delta_0 = \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{2 \cdot Q} \sqrt{\frac{\Delta U}{U_0}}, \quad (3)$$

где  $\frac{\Delta U}{U_0}$  - относительная погрешность измерения напряжения.

Результаты расчета занести в отчет по лабораторной работе.

1.5. Задание пятое – Изучить методы измерения фазового сдвига гармонических колебаний. Особое внимание следует обратить на характер и порядок систематических погрешностей, которые присущи различным методам измерения фазового сдвига

Методические указания к заданию.

Данный вопрос следует изучить по учебному пособию [4, с. 119-124], при этом можно ограничиться следующим материалом.

Фазовым сдвигом  $\varphi$  называется модуль разности аргументов двух гармонических сигналов одинаковой частоты  $u_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$  и  $u_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$ , т.е. разности начальных фаз.

$$\varphi = |\varphi_1 - \varphi_2| \quad (4)$$

Фазовый сдвиг является постоянной величиной и не зависит от момента отсчета. Обозначим через  $\Delta T$  интервал времени между моментами, когда сигналы находятся в

одинаковых фазах, например, при переходах через нуль от отрицательных к положительным значениям. Тогда фазовый сдвиг  $\varphi = \omega \cdot \Delta T = 2 \cdot \pi \cdot \Delta T / T$  или

$$\varphi = 360 \cdot \Delta T / T, \quad (5)$$

где,  $T$  – период гармонических сигналов.

Фазовый сдвиг появляется, когда электрический сигнал проходит через цепь, в которой он задерживается. Все частотно-зависимые четырехполюсники вносят фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями  $\varphi = \omega \cdot t_3$ , где  $t_3$  - длительность задержки в секундах. Усилительный каскад обычного типа вносит фазовый сдвиг, равный  $\pi$ . Большинство радиотехнических устройств наряду с другими параметрами характеризуется фазочастотной характеристикой  $\varphi(\omega)$ , т. е. зависимостью фазового сдвига от частоты.

Если напряжения с одинаковыми частотами имеют несинусоидальную форму, то фазовый сдвиг рассматривается между их первыми гармониками. Можно такие напряжения характеризовать временным интервалом  $\Delta T$ .

Для измерения фазового сдвига применяют следующие методы: *осциллографический с линейной и синусоидальной разверткой, преобразование фазового сдвига во временной интервал и метод дискретного счета.*

Погрешности измерения фазового сдвига определяются теми же факторами, что и в соответствующих методах и временных интервалах. Для осциллографического метода она имеет порядок нескольких градусов. При использовании метода дискретного счета максимальная погрешность составляет

$$\Delta\varphi = 90 / (f \cdot T_{Cч}),$$

где  $T_{Cч}$  - интервал времени счета;  $f$  - частота исследуемых напряжений.

## 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание первое - Определить коэффициент калиброванных разверток осциллографа (провести поверку), используя в качестве образцового прибора электронно-счетный частотомер, в качестве источника сигнала импульсный генератор

Методические указания к заданию.

Поверку производить для значений калиброванных разверток указанных преподавателем.

По данным экспериментов вычислить коэффициенты развертки для заданного положения переключателя калиброванных разверток и относительную погрешность.

Коэффициент калиброванных разверток измеряется с помощью импульсного генератора и электронно-счетного частотомера. Для проведения эксперимента собрать схему согласно рис. 1.

Переключатель разверток осциллографа установить в положение, соответствующее калиброванной развертке  $\theta$  время/дел, заданной преподавателем.

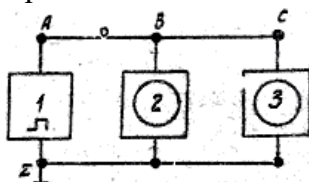


Рис. 1. Схема измерений: 1 - импульсный генератор; 2 - электронно-счетный частотомер; 3 – электронно лучевой осциллограф

Подать с импульсного генератора калибровочные

импульсные сигналы с длительностью импульса  $\tau = 10$  мкс и периодом повторения  $T_H$ , соответствующим на горизонтальной развертке  $M$  делениям шкалы.

Тогда измеренное значение коэффициента калиброванной развертки

$$\hat{\theta} = T_H / M ,$$

а относительная погрешность измерения  $\delta_{\theta} = \delta_{T_H} - \delta_M$ .

Дальнейшие расчеты погрешности производят с учетом типов используемых приборов.

Результаты измерений и расчетов погрешностей внести в табл. 1.

Таблица 1

$T_H \pm \Delta T_H$	$M \pm \delta M$	$\hat{\theta} \pm \delta \hat{\theta}$
----------------------	------------------	--

Результаты измерения  $\delta \hat{\theta} (\delta M \rightarrow 0)$  сравнить с  $\delta \theta$ , указанной в технической документации (ТО).

2.2. Задание второе – Измерить частоту низкочастотного генератора по калиброванной развертке осциллографа и провести измерение частоты звукового диапазона методом дискретного счета (электронно-счетным частотомером)

Методические указания к заданию.

Перед началом измерений проверить калиброванную развертку осциллографа. В случае необходимости произвести подстройку развертки в соответствии с ТО и ИЭ.

Подключить генератор низкочастотных колебаний на вход осциллографа и получить устойчивое изображение от нуля. По калиброванной развертке определить период  $T_{осц}$

измеряемой частоты  $f$ , пересчитать значение периода в частоту  $f_{РАСЧ.ОСЦ} = 1/T_{ОСЦ}$ .

Пересчитывая частоту генератора, провести измерения для всех значений частоты указанных в табл. 2. Результаты измерений и расчетов записать в табл. 2. Одновременно производить измерения с помощью цифрового частотомера (задание третье).

Таблица 2

Результаты измерения частоты и периода

Частота генератора, кГц	$f$	0,1	1	10	10 0	1000
Период на осциллографе	$T_{ОСЦ}$					
Период на частотомере	$T_{ЧАСТ}$					
Расчетная частота с осциллографа	$f_{РАСЧ.ОСЦ}$					
Расчетная частота с частотомера	$f_{РАСЧ.ЧАСТ}$					
Частота на частотомере	$f_{ЧАСТ}$					
Погрешность метода	$\frac{\Delta f_{РАСЧ.ОСЦ}}{f_{РАСЧ.ОСЦ}}$					
Погрешность шкалы	$\frac{\Delta f}{f}$					

Подготовить электронно-счетный частотомер к работе. Подключить генератор и измерить с помощью частотомера: в режиме измерения периода  $T_{ЧАСТ}$  с последующим вычислением частоты  $f_{РАСЧ.ЧАСТ} = 1/T_{ЧАСТ}$ ; в режиме измерения частоты  $f_{ЧАСТ}$ .



Результаты измерений и расчетов записать в табл. 2.

Рассчитать погрешность  $\frac{\Delta f_{РАСЧ.ОСЦ}}{f_{РАСЧ.ОСЦ}}$  измерения частоты

по калиброванной развертке и погрешность  $\frac{\Delta f}{f}$  градуировки

шкалы генератора. За достоверные значения частоты принять  $f_{РАСЧ.ЧАСТ}$  или  $f_{ЧАСТ}$  в зависимости от того, какое значение из них является более точным (по меньшей погрешности дискретности в диапазоне низких и высоких частот). Результат измерений сравнить с результатом расчетов третьего домашнего задания (разд. 1.3.).

2.3. Задание третье – Провести измерение частоты радиодиапазона резонансным методом

Методические указания к заданию.

Подготовить к работе генератор высокочастотных колебаний. Собрать схему резонансного частотомера. В качестве измерительной системы использовать резонансный контур и лабораторный стенд. Схема измерения показана на рис. 2.

Провести градуировку шкалы резонансного частотомера, т.е. найти зависимость резонансной частоты контура  $f_p$  от положения элементов настройки (числа делений). Для этого последовательно установить ручку элемента настройки на все оцифрованные деления и изменением частоты генератора в диапазоне 0,9 – 3 МГц добиться резонанса. Момент наступления резонанса контролировать по максимальному показанию милливольтметра. Значение резонансной частоты измерить цифровым частотомером. Построить градуировочную кривую, как показано на рис. 3.

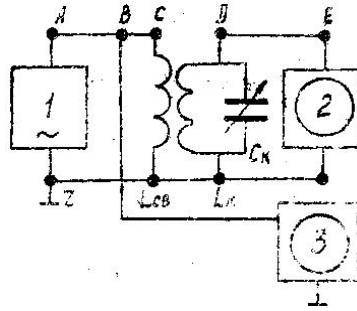


Рис. 2. Схема измерения частоты резонансным методом:  
 1 – высокочастотный генератор; 2 – милливольтметр;  
 3 – электронно - счетный частотомер

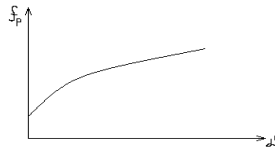


Рис. 3. Зависимость  $f_p = f(\alpha)$

Измерить частоту высокочастотного генератора в оцифрованных точках указанного диапазона с помощью собранного резонансного частотомера. Значение частоты определить по положению элемента настройки и градуировочной кривой. Точность измерения резонансным методом контролировать по электронно-счетному частотомеру в режиме измерения частоты  $f_A$ .

Рассчитать погрешность  $\frac{\Delta f_p}{f_p}$  измерения частоты

резонансным методом и погрешность  $\frac{\Delta f}{f}$  градуировки шкалы

генератора.

Результаты эксперимента свести в табл. 3.

## Результаты измерения частоты резонансным методом

Частота генератора	$f$	
Частота с резонансного частотомера	$f_p$	
Показания частотомера	$f_0$	
Погрешность метода	$\frac{\Delta f_p}{f_p}$	
Погрешность шкалы	$\frac{\Delta f}{f}$	

Результаты измерений сравнить с результатами расчетов четвертого домашнего задания (разд. 1.4).

2.4. Задание четвертое – Определить диапазон измерения частоты цифрового частотомера

Методические указания к заданию.

Определение верхней граница диапазона измерения электронно-счетного частотомера производят в режиме измерения частоты по схеме рис. 2.1. Плавно перестраивая частоту генератора и подстраивая одновременно уровень срабатывания формирователя частотомера (регулировка "Уровень" в канале А), найти максимальное значение частоты, выше которой частотомер работает со сбоями (показания не возрастают с повышением частоты или меняются случайным образом).

2.5. Задание пятое – Измерить фазовый разбаланс каналов осциллографа

Методические указания к заданию.

Для измерения фазового разбаланса осциллографа собрать схему рис.4. На горизонтальный и вертикальный входы

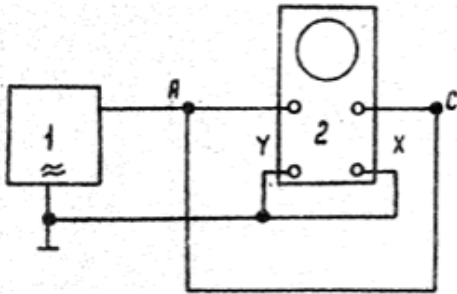


Рис. 4. Схема измерений фазового разбаланса: 1 – генератор; 2 – осциллограф

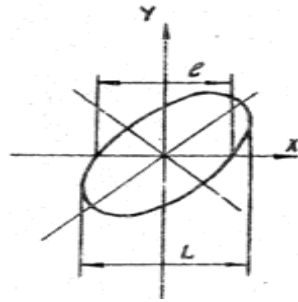


Рис. 5. Измерение сдвига фаз методом эллипса

осциллографа подаются одинаковые напряжения в диапазоне 20 Гц - 10 МГц от низкочастотного генератора и методом эллипса (фигур Лиссажу) измеряется разность фаз сигналов, подводимых к пластинам (рис. 5). Фазовый сдвиг рассчитывается

по формуле  $\Delta\varphi = \arcsin \frac{l}{L}$ .

Результаты занести в табл. 4.

Таблица 4

Результаты измерений фазового разбаланса каналов осциллографа

$f$ , Гц	
$\Delta\varphi^{\circ}$	

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ОТЧЕТУ

1. Что такое частота, период и длина волны?
2. Какие методы измерения частоты и периода используют наиболее часто?
3. Что такое разность фаз? Из-за чего он появляется?
4. Какие методы применяются для измерения разности

фаз?

5. Как определяется относительная погрешность электронно-счетного частотомера при измерений частоты и периода?

6. В каких случаях при измерении частоты методом дискретного счета целесообразно использовать режим "Измерение  $f_A$ " или "Измерение  $T_B$ "?

7. Нарисуйте блок-схему электронно-счетного частотомера в режиме измерения частоты.

8. Чем определяется диапазон измерения цифровых частотомеров?

9. Изобразите графически погрешности возникающие при использовании нелинейного напряжения развертки в осциллографе?

10. Как определяется частота методом сравнения с помощью фигур Лиссажу?

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет оформляется в соответствии с требованиями СТП ВГТУ.

Отчет должен содержать: структурные схемы измерительных приборов, впервые используемых в данной работе; схемы измерений; результаты измерений и расчетов, занесенные в соответствующие таблицы; выводы по каждому лабораторному заданию и быть оформлен, как указано в соответствующем разделе лабораторной работы № 1. В выводах по работе дать сравнение погрешностей, получаемых при измерении напряжения методом непосредственной оценки и методом сравнения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8.011-72. ГСИ. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений [Текст]. - Введ. 1973-01-01. - М. : Изд-во стандартов, 1972. - 27 с.
2. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст]. - Введ. 1977-02-01. - М. : Изд-во стандартов, 1976. - 20 с.
3. ГОСТ 8.401-80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования [Текст]. - Введ. 1981-02-03. - М. : Изд-во стандартов, 1980. - 21 с.
4. ГОСТ 7.32-81. Отчёт о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления [Текст]. - Введ. 1982-03-04. - М. : Изд-во стандартов, 1981. - 23 с.
5. ГОСТ 1494-77. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин [Текст]. - Введ. 1978-05-01. - М. : Изд-во стандартов, 1977. - 25 с.
6. Тартаковский Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст] : учеб. для ВУЗов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высш. шк., 2002. – 205 с.
7. Муратов А.В. Метрология, стандартизация и технические измерения [Текст] : учеб. пособие / А.В. Муратов, М.А. Ромащенко. Воронеж: ВГТУ, 2007. – 255 с.
8. Крохин В.В. Метрология. Карманная энциклопедия студента [Текст] / В.В. Крохин, В.Г. Сергеев. – М.: Высш. шк., 2001. – 376 с.
9. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога [Текст] / У. Болтон. – М.: Додека -XXI , 2002. – 384 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	1
Лабораторная работа № 3 «Измерение токов и напряжений».	1
Лабораторная работа № 4 «Измерение частоты и фазы».....	21
Библиографический список.....	36

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 3-4 по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» и «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм обучения

Составители:  
Самодуров Александр Сергеевич

В авторской редакции

Подписано к изданию \_\_\_\_\_.  
Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский проспект, 14