

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н.ТУПОЛЕВА

---

Филиал “Восток”

М.И. Николаев

Практикум по метрологии, стандартизации и сертификации  
в приборостроении

*Учебное пособие*

Казань 2011

УДК 621.317

Николаев М.И. Практикум по метрологии, стандартизации и сертификации в приборостроении: Учебное пособие: Для студентов очного и заочного обучения.— Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011.— 76 с.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных занятий по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», для студентов специальности 200101.

Учебное пособие может быть применено для выполнения лабораторных занятий по специальностям 230101, 280202 в рамках дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», а также по специальности 080502 в рамках дисциплины «Управление качеством».

Табл. 18. Ил. 17. Библиогр.: 14 назв.

Рецензенты: к.т.н., директор ООО НТЦ «Восток» Доронин А.Н.

к.т.н., доцент Уфимского государственного авиационного технического университета Кудаяров Р.А.

к.т.н, доцент кафедры радиоэлектроники и информационно - измерительной техники КГТУ им. А.Н. Туполева Кирсанов А.Ю.

*Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и оптотехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 Приборостроение и специальности 200101 – Приборостроение*

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1 «Прямые равноточные измерения с многократными наблюдениями»	5
Лабораторная работа № 2 «Работа с комплектом измерительных приборов»	28
Лабораторная работа № 3 «Измерение параметров качества»	42
Лабораторная работа № 4 «Измерение параметров электрического сигнала»	62

## ВВЕДЕНИЕ

Для каждой из четырёх работ практикума излагаются теоретические и методические сведения в общем объёме, достаточном для лабораторного курса по дисциплине "Метрология, стандартизация и сертификация" по специальности "Приборостроение".

Работы № 1 и № 3 базируются на государственных стандартах, в которых, в свою очередь, излагаются методы измерений. Таким образом, в процессе работы студент одновременно получает знания из двух разделов дисциплины: стандартизация и метрология. Работа № 1 содержит измерения с многократными наблюдениями, работа № 3 содержит измерения экспертным методом, таким образом, изучаются типовые элементы процесса сертификации.

В лабораторной работе № 1 рассматривается один из наиболее применяемых видов измерений, прямые измерения. Наблюдения для исходных данных предполагается получить методом непосредственной оценки. Студенты, выполнившие эту работу, приобретают навыки выполнения технических измерений.

Лабораторная работа № 2 рассчитана на изучение функциональных возможностей современных средств измерений: цифровых универсальных измерительных приборов (мультиметров), цифрового осциллографа, генератора стандартных сигналов, частотомера и виртуальных приборов *LabVIEW*.

В ходе лабораторной работы № 3 студенты изучат приемы измерения параметров качества экспертным методом. Включение этой работы в состав практикума отражает современные подходы к выполнению измерений, т.к. измерение параметров качества является актуальным вопросом. Современные измерения, как правило, выполняются не отдельными приборами, а интегрированными информационно-измерительными комплексами, нередко территориально распределёнными и объединёнными посредством телекоммуникационных сетей.

Лабораторная работа № 4 отчасти дублирует работу № 2, отличие состоит в углублённом изучении не возможностей приборов, а принципов, заложенных в основу их работы. Например, рассматриваются вопросы внешней и внутренней синхронизации, калибровки и другие вопросы, порой «незаметные» на современных приборах. Для этих целей работа выполнена на базе классических средств измерений, оснащённых богатым набором функций ручной регулировки. Включение этой работы в состав практикума учитывает специфику отрасли приборостроения.

# **1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ПРЯМЫЕ РАВНОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ С МНОГОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ**

## **1.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Цель работы – рассмотрение особенностей технических измерений, изучение основных положений прямых измерений с многократными наблюдениями согласно ГОСТ 8.207 – 76, получение опыта работы с нормативно-технической документацией, излагающей методику технических измерений.

## **1.2 ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

В этом разделе излагаются элементы общей теории измерений, необходимые для работы со стандартом ГОСТ 8.207 – 76.

### **ИЗМЕРЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ**

Основополагающим понятием метрологии является измерение – нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств.

Измерение физической величины производят путем её сравнения в процессе эксперимента с величиной, принятой за единицу физической величины. Целью измерения является получение значения физической величины в наиболее удобной форме. С помощью измерительного прибора определяют, во сколько раз значение данной величины больше или меньше значения величины, принятого за единицу.

Измерения могут быть классифицированы:

- по характеристике точности – равноточные, неравноточные;
- по числу наблюдений – однократные, многократные;
- по режиму работы применяемых средств измерений – статические, динамические;
- по метрологическому назначению – технические, метрологические;
- по выражению результата измерения – абсолютные, относительные;
- по способу обработки экспериментальных данных – прямые, косвенные, совместные, совокупные;
- По способу применения меры – методом непосредственной оценки и методом сравнения с мерой.

Равноточные измерения. Ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях.

Неравноточные измерения. Ряд измерений, какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности средствами измерений в нескольких разных условиях.

Однократные измерения. Измерение, выполненное один раз. Однократные измерения применяются, когда приоритет принадлежит не точности, а стоимости процесса измерения, или приоритет принадлежит временным нормативам, а также когда наблюдаемое событие быстротечно, или объект измерения меняет свойства и даже разрушается под воздействием процесса измерения.

Многократные измерения. Нахождение размера физической величины с выполнением нескольких следующих друг за другом наблюдений физической величины одного и того же размера. Только многократные измерения позволяют судить о размере случайной погрешности и влиять на размер случайной погрешности, меняя количество наблюдений.

Статические измерения. Измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную величину на протяжении времени измерения.

Динамические измерения. Измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Технические измерения. Измерения с помощью рабочих средств измерений.

Метрологические измерения. Измерение при помощи эталонов и образцов средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размера рабочим средствам измерений.

В технических и метрологических измерениях результат находится с требуемой точностью, точность обеспечивается с заданной вероятностью.

Измерение одной и той же физической величины можно выполнить разными способами. В зависимости от цели измерения, существующие способы можно классифицировать и в каждом случае выбирать лучший из них, как правило – по соотношению между затратами на осуществление измерений и ущербом от недостоверных результатов измерений. Среди многих известных классификаций можно выделить две, построенные по следующим признакам: по способу обработки экспериментальных данных и по способу применения меры. Они получили соответствующие наименования: виды измерений и методы измерений. Приложения 1.1 и 1.2 содержат сведения об этих классификациях.

В свою очередь, среди видов измерений и методов измерений можно выделить виды и методы, которые применяются наиболее часто. Это прямые измерения и измерения методом непосредственной оценки. Например, измерение силы тока аналоговым амперметром или определение размеров

детали при помощи штангельциркуля – прямые измерения методом непосредственной оценки.

При методе непосредственной оценки значение физической величины находят непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого преобразования, шкала которого заранее была отградуирована с помощью меры. При этом не возникает необходимости использовать для измерений дополнительную меру.

При прямых измерениях значение физической величины находят непосредственно по опытным данным в результате выполнения измерения. При этом нет необходимости в дополнительных вычислениях для определения измеряемой физической величины.

В работе рассматриваются равноточные измерения с многократными наблюдениями. Равноточность измерений истолковывается в широком смысле, как одинаковая распределённость (в узком смысле равноточность измерений понимается как одинаковость меры точности всех результатов измерений). Наличие грубых ошибок (промахов) означает нарушение равноточности как в широком, так и в узком смысле.

На практике условие равноточности считается выполненным, если наблюдения производятся одним и тем же оператором, в одинаковых условиях внешней среды, с помощью одного и того же средства измерения. При таких условиях будут получены равнорассеянные (по-другому, равноточные, от слов равная точность), т.е. одинаково распределённые случайные величины.

## ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, ИСТИННОЕ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Под термином «физическая величина» (кратко «величина») понимают свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (масса, длина, температура и т.д.), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Количественное содержание этого свойства в объекте является размером физической величины. Получение информации о размере величины является содержанием любого измерения. Величину, которой присвоено числовое значение, равное единице, называют единицей физической величины.

Физическую величину характеризует ее истинное значение, которое идеальным образом в качественном и количественном отношениях отражает соответствующее свойство объекта. Значение физической величины, найденное экспериментальным путем и приближающееся к истинному значению настолько, что для данной цели может применяться вместо него, называется действительным.

## ПОГРЕШНОСТЬ, КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Погрешностью называют отличие между объективно существующим истинным значением физической величины и найденным в результате измерения действительным значением физической величины.

В зависимости от обстоятельств, при которых проводились измерения, а также в зависимости от целей измерения, выбирается та или иная классификация погрешностей. Иногда используют одновременно несколько взаимно пересекающихся классификаций, желая по нескольким признакам точно охарактеризовать влияющие на результат измерения физические величины. В таком случае рассматривают, например, инструментальную составляющую неисключённой систематической погрешности. При выборе классификаций важно учитывать наиболее весомые или динамично меняющиеся или поддающиеся регулировке влияющие величины. Ниже приведены общепринятые классификации согласно типовым признакам и влияющим величинам.

**По виду представления** различают абсолютную, относительную и приведённую погрешности.

Абсолютная погрешность это разница между результатом измерения  $X$  и истинным значением  $Q$  измеряемой величины. Абсолютная погрешность находится как  $\Delta = X - Q$  и выражается в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:  
$$\delta = \Delta / Q = (X - Q) / Q.$$

Приведённая погрешность это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность средства измерения отнесена к условно принятому нормирующему значению  $Q_N$ , постоянному во всём диапазоне измерений или его части. Относительная и приведённая погрешности – безразмерные величины.

**В зависимости от источника возникновения** различают субъективную, инструментальную и методическую погрешности.

Субъективная погрешность обусловлена погрешностью отсчёта оператором показаний средства измерения.

Инструментальная погрешность обусловлена несовершенством применяемого средства измерения. Иногда эту погрешность называют аппаратной. Метрологические характеристики средств измерений нормируются согласно ГОСТ 8.009 – 84, при этом различают четыре составляющие инструментальной погрешности. В данной лабораторной работе учитываются две составляющие: основная и дополнительная инструментальная погрешности, они определяются классом точности средства измерения.



Методическая погрешность обусловлена следующими основными причинами:

- отличие принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его метрологические свойства;
- влияние средства измерения на объект измерения;
- неточность применяемых при вычислениях физических констант и математических соотношений.

**В зависимости от измеряемой величины** различают погрешность аддитивную и мультипликативную.

Аддитивная погрешность не зависит от измеряемой величины.

Мультипликативная погрешность меняется пропорционально измеряемой величине.

**В зависимости от режима работы средства измерений** различают статическую и динамическую погрешности.

Динамическая погрешность обусловлена реакцией средства измерения на изменение параметров измеряемого сигнала (динамический режим).

Статическая погрешность средства измерения определяется при параметрах измеряемого сигнала, принимаемых за неизменные на протяжении времени измерения (статический режим).

**По характеру проявления во времени** различают случайную и систематическую погрешности.

Систематической погрешностью измерения называют погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях остаётся постоянной или закономерно меняется.

Случайной погрешностью измерения называют погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях изменяется случайным образом.

Эта классификация хорошо согласуется с инструментами математической статистики и делит все существующие погрешности на две группы – случайные погрешности и систематические погрешности.

Разбивая все существующие погрешности на две группы – случайные и систематические, добиваются относительной простоты их учета, но при этом следует учитывать обстоятельства, связанные с неполным соответствием модели и реальных процессов. Несоответствие заключается в том, что случайные погрешности не являются чисто случайными, они могут носить и систематический характер. Например, источником случайной погрешности может служить искра, проскочившая между контактами проезжающего неподалеку трамвая. Такая погрешность является случайной, т.к. неизвестно, проедет ли в момент измерений трамвай, проскочит ли искра, будет ли ее влияние существенным. С другой стороны, известно, что трамваи встречаются днем чаще, чем ночью, а искры проскакивают тем чаще, чем больше скорость движения трамвая. Случайная погрешность приобрела систематический характер. Эти обстоятельства учитываются взаимной корреляцией. Если

корреляция существует, то в рассмотренном выше примере погрешность будет одновременно носить и случайный и систематический характер. Взаимную корреляцию необходимо учитывать при суммировании погрешностей.

Когда судят о погрешности, подразумевают не значение, а интервал значений, в котором с заданной вероятностью находится истинное значение. Поэтому говорят об оценке погрешности. Если бы погрешность оказалась измеренной, т.е. стали бы известны её знак и значение, то её можно было бы исключить из действительного значения измеряемой физической величины и получить истинное значение.

## СУММИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Оценка расчётным путём результирующей погрешности по известным оценкам ее составляющих называется суммированием погрешностей. В зависимости от требуемой точности, применяются различные методы суммирования погрешностей. Наиболее общим является метод, в котором при суммировании все составляющие погрешности должны рассматриваться как случайные величины.

Согласно ГОСТ 8.207 – 76, случайная погрешность оценивается доверительным интервалом. Однако при произвольно выбираемых доверительных вероятностях доверительный интервал суммы не равен сумме доверительных интервалов. В теории вероятностей показано, что суммирование статистически независимых случайных величин осуществляется в виде геометрической суммы их среднеквадратических отклонений (при условии, что суммируемые величины некоррелированы). Если суммируемые составляющие погрешности коррелированы, расчётные соотношения усложняются, суммарное значение погрешности возрастает.

Погрешность оценивается с учётом закона распределения результатов наблюдений. Поэтому методика, изложенная в ГОСТ 8.207 – 76 для нормального распределения, не может быть применена для иных видов распределений, иначе может быть получена заниженная или завышенная оценка погрешности. Кроме нормального закона, в технических измерениях часто встречается равномерный закон, например, в распределении систематических погрешностей значений, полученных при многократных наблюдениях, если систематическая погрешность существенно превышает случайную.

Упростить процесс суммирования позволяет пренебрежение малыми погрешностями. Один из возможных вариантов определения критерия ничтожно малой погрешности состоит в том, что если одна величина больше другой на порядок, то ею можно пренебречь.

Основные положения прямых измерений с независимыми многократными наблюдениями устанавливает ГОСТ 8.207 – 76. Эти положения не могут быть распространены на другие виды измерений, т.к. не учитывают те виды погрешностей, которые существенны для них, например, методическую

погрешность в совместных измерениях. Соответствующие положения изложены в отдельных нормативных документах. Методика, изложенная в ГОСТ 8.207 – 76, может использоваться в качестве составной части других методик измерений (см. прил. 1.3).

## ТОЧНОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Применение рассмотренных выше элементов общей теории измерений необходимо для обеспечения точности и достоверности результата измерения. При многократных наблюдениях получают ряд значений, обрабатывая которые находят результат измерения. Для обработки применяют инструменты математической статистики, рассматривая ряд значений как выборку из генеральной совокупности. Опираясь на теорию вероятностей, математическая статистика позволяет оценить надёжность и точность выводов, делаемых на основании ограниченного статистического материала.

**Точность** характеризуется значением, обратным значению относительной погрешности. Величина, обратная абсолютной погрешности, называется мерой точности. В зависимости от требуемой точности, в процессе измерений могут применяться как однократные, так и многократные наблюдения. Если выполняется лишь одно наблюдение, то результат наблюдения является результатом измерения. Если выполняется больше одного наблюдения, результат измерения получают в итоге обработки результатов наблюдений, как правило, в виде среднего арифметического.

В методике, изложенной в ГОСТ 8.207 – 76, результаты многократных наблюдений являются исходными данными. После их обработки по стандартному алгоритму получаем: действительное значение  $\bar{A}$  физической величины как среднее арифметическое от результатов многократных наблюдений; погрешность  $\Delta$  найденного действительного значения; вероятность  $P$ , с которой истинное значение физической величины удалено от действительного значения на интервал, не превышающий погрешности.

Требуемая точность технических измерений может также обеспечиваться повторением многократных наблюдений. В этом случае многократные наблюдения одного и того же объекта выполняются несколько раз. Чтобы сократить время, необходимое для обработки нескольких рядов многократных наблюдений, в начале процесса обработки применяют индикаторы, позволяющие определить предпочтительный ряд и в дальнейшем обрабатывать только этот ряд.

Такими индикаторами является сумма остаточных погрешностей и сумма квадратов остаточных погрешностей. Эти индикаторы являются косвенной характеристикой несмещённости и эффективности оценки, полученной при обработке результатов многократных наблюдений.

Если измерения проводились несколько раз и получено несколько рядов результатов наблюдений, то при одинаковом количестве наблюдений в разных

рядах наименьшую сумму остаточных погрешностей будет иметь тот ряд, в котором результаты распределились симметрично относительно среднего арифметического значения, т.е. наиболее близко к нормальному закону (см. прил. 1.4). Для дальнейших вычислений рекомендуется выбирать именно его, т.к. он в наибольшей степени будет удовлетворять условию равноточности, а при исключённой систематической погрешности – условию несмещённости оценки результата измерения.

Несмещённая оценка — статистическая оценка, математическое ожидание которой совпадает с оцениваемой величиной. Про несмещённую оценку говорят, что она лишена систематической ошибки.

Однако симметричность не является исчерпывающей характеристикой распределения. Следующим важным в метрологии признаком является компактность распределения. По этому признаку при фиксированном числе наблюдений предпочтительный ряд может быть определён индикатором эффективности. Эффективной называется та из нескольких возможных несмещённых оценок, которая имеет наименьшую дисперсию. Условию эффективности будет удовлетворять ряд с наименьшей суммой квадратов остаточных погрешностей.

Очевидно, что в практической метрологии эффективная оценка является предпочтительной. Признак эффективности свидетельствует о том, что субъективная составляющая случайной погрешности минимальна, наблюдения выполнялись более аккуратно и будет обеспечен наименьший размер случайной погрешности.

В теоретической метрологии рассматривается также состоятельная оценка, являющаяся идеальной моделью для многократных измерений, к которой желательно стремиться, но получить ее практически невозможно. При состоятельной оценке истинное и действительное значение совпадают, погрешность равна нулю. Это достигается бесконечным увеличением числа наблюдений. Состоятельной называется оценка, в которой при числе наблюдений, стремящемся к бесконечности, дисперсия стремится к нулю.

**Достоверность** результата измерения полагается высокой, если  $P$  близка к единице ( $P$  – вероятность, с которой истинное значение физической величины удалено от действительного значения на интервал, не превышающий погрешности). В технических измерениях значение  $P$ , как правило, принимается равным 0,95. Это говорит о том, что если проводить такие измерения 100 раз, то в 95 случаях истинное значение окажется удалено от действительного значения на интервал, размеры которого не превышают погрешности, а в 5 случаях окажется удалено на интервал, превышающий погрешность. Поэтому в измерениях, имеющих непосредственное влияние на безопасность и здоровье, значение  $P$  принимается равным 0,99. Такую же вероятность назначают при однократных измерениях. Это объясняется тем, что при прочих равных обстоятельствах (в первую очередь, при одинаковом числе наблюдений), размеры  $P$  и  $\Delta$  взаимосвязаны: чем больше  $P$ , тем больше  $\Delta$ , следовательно,

назначая высокую степень уверенности, мы рассматриваем наихудший вариант контролируемых событий.

Задавая большую степень неопределённости контролируемым посредством измерений событиям, мы получаем большую уверенность в том, что они произойдут. Например, вероятность того, что снаряд попадет в точку, оставленную карандашом, близка к нулю. Если постепенно увеличивать размеры точки до размеров земного шара, то вероятность попадания снаряда в эту точку будет приближаться к единице.

Существует способ одновременно увеличивать достоверность и уменьшать неопределенность результата измерений, т.е. увеличивать  $P$  и уменьшать  $\Delta$ . Этот способ – увеличение числа наблюдений. Увеличением числа наблюдений можно добиться, соответственно, роста  $P$  при фиксированной  $\Delta$ , или же уменьшения  $\Delta$  при фиксированной  $P$ . Из этих рассуждений становится понятно, почему не следует стремиться к «максимальной» точности измерений или требовать чрезмерно высокую достоверность результатов – это потребует дополнительных наблюдений, сделает измерения слишком дорогими.

В этой связи актуален вопрос корректной записи результатов измерений. Действуют правила корректной записи результатов. Эти правила содержатся в разделе 6 стандарта ГОСТ 8.207 – 76, а также в комментариях к разделу 6 в этой работе.

Для получения результатов, минимально отличающихся от истинного значения измеряемой физической величины, проводят многократные наблюдения и затем проводят математическую обработку полученного массива с целью определения и минимизации случайной и систематической составляющих погрешности. Минимизация случайной погрешности обеспечивается выполнением рассмотренного выше условия эффективности при выборе ряда наблюдений.

**Минимизация систематической погрешности** в процессе наблюдений выполняется следующими методами: метод замещения (состоит в замещении измеряемой величины мерой), метод противопоставления (состоит в двух поочерёдных измерениях при замене местами меры и измеряемого объекта), метод компенсации погрешности по знаку (состоит в двух поочерёдных измерениях, при которых влияющая величина становится противоположной).

При многократных наблюдениях возможно апостериорное (после выполнения наблюдений) исключение систематической погрешности в результате анализа рядов наблюдений. Рассмотрим графический анализ. При этом результаты последовательных наблюдений представляются функцией времени либо ранжируются в порядке возрастания погрешности.

Рассмотрим временную зависимость. Будем проводить наблюдения через одинаковые интервалы времени. Результаты последовательных наблюдений являются случайной функцией времени. В серии экспериментов, состоящих из ряда последовательных наблюдений, получаем одну реализацию

этой функции. При повторении серии получаем новую реализацию, отличающуюся от первой.

Реализации отличаются преимущественно из-за влияния факторов, определяющих случайную погрешность, а факторы, определяющие систематическую погрешность, одинаково проявляются для соответствующих моментов времени в каждой реализации. Значение, соответствующее каждому моменту времени, называется сечением случайной функции времени. Для каждого сечения можно найти среднее по всем реализациям значение. Очевидно, что эта составляющая и определяет систематическую погрешность. Если через значения систематической погрешности для всех моментов времени провести плавную кривую, то она будет характеризовать временную закономерность изменения погрешности. Зная закономерность изменения, можем определить поправку для исключения систематической погрешности. После исключения систематической погрешности получаем «исправленный ряд результатов наблюдений».

## КЛАСС ТОЧНОСТИ

В данной лабораторной работе при оценке систематической погрешности учитываются две составляющие: основная и дополнительная инструментальная погрешности, они определяются классом точности средства измерения. Класс точности средства измерения – обобщённая метрологическая характеристика, служащая показателем установленных государственными стандартами пределов основных и дополнительных погрешностей и других параметров, влияющих на точность. Из-за разнообразия средств измерений и измеряемых величин, нецелесообразно применять единый способ выражения пределов допускаемых погрешностей. Соответственно предусматриваются и различные способы обозначения классов точности. Рассмотрим три основных способа.

В большинстве случаев обозначение класса точности представляет собой выраженное в процентах значение относительной погрешности. В таких случаях обозначение класса точности заключают в кружок. Например, класс точности  $\textcircled{0,1}$  соответствует относительной погрешности 0,1 %. Напомним, что относительная погрешность представляет собой абсолютную погрешность, нормированную к результату измерения.

Если для обозначения класса точности используется значение приведённой погрешности, возможны два варианта: погрешность, приведённая к размеру шкалы и погрешность, приведённая к участку шкалы.

Погрешность, приведённая к размеру шкалы, образуется нормированием абсолютной погрешности к этому размеру. В этом варианте обозначение класса точности приводится просто в виде цифр, без каких-либо дополнительных символов.

Погрешность, приведённая к участку шкалы, образуется нормированием абсолютной погрешности к размеру этого участка. В этом варианте обозначение класса точности приводится над галочкой. Такой же галочкой обозначены участки шкалы, по отношению к которым выполняется нормирование.

Сведения о классе точности размещают на шкале и в паспортных данных средства измерений.

### 1.3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Измерения выполняются в соответствии с ГОСТ 8.207 – 76, учебная копия которого должна быть получена у преподавателя.

#### ПЛАН РАБОТЫ

Объём работы 8 часов. Первые 4 часа отводятся для ознакомления с разделом «особенности технических измерений», с ГОСТ 8.207 – 76, для выполнения эксперимента и выполнения всех расчётов.

Следующие 4 часа отводятся для оформления отчёта, подробного изучения раздела «особенности технических измерений», приложений, ответов на контрольные вопросы и собеседования.

#### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из электронно-лучевого осциллографа С1 – 65А и цифрового вольтметра В7 – 38. Лабораторная установка предназначена для исследования амплитудных параметров внутреннего калибратора осциллографа С1 – 65А. Контроль параметров осуществляется для одного из уровней постоянных калибровочных напряжений, вольтметром В7 – 38.

Встроенный калибратор предусмотрен для автономного контроля работоспособности и калибровки осциллографа. На выходе калибратора может быть получен образцовый прямоугольный периодический сигнал (меандр) с фиксированной частотой 1 кГц или образцовый постоянный сигнал. Уровень сигнала регулируется ступенчато, с помощью расположенного в поле «КАЛИБРАТОР» многопозиционного переключателя уровня сигнала. На одной оси с переключателем уровня сигнала расположен трёхпозиционный переключатель режимов калибратора. В положении «Выкл.» калибратор отключен. В положении « $\square$  1 kHz» на выход « $\odot$ » калибратора поступает образцовый прямоугольный периодический сигнал с фиксированной частотой 1 кГц. В положении «—» на выход калибратора поступает образцовый постоянный сигнал.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Включить электропитание вольтметра и осциллографа. Установить переключатель формы калибровочных напряжений осциллографа (находится на оси основного переключателя калибратора) в положение «—» (символ постоянного калибровочного напряжения).

Присоединить к гнезду « $\odot$ » (выход калибратора) и клемме « $\perp$ » (общий провод осциллографа) двухпроводным измерительным кабелем вольтметр В7 – 38. Установить вольтметр в режим измерения постоянных напряжений (кнопка «V=»). Отображённое на индикаторе вольтметра значение калибровочного напряжения,  $x_i$ , записать в таблицу.

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$

Отсоединяя вольтметр от выхода калибратора, и вновь присоединяя его к выходу калибратора, получают ряд экспериментальных данных, результаты наблюдений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Согласно ГОСТ 8.207 – 76, результаты наблюдений должны быть получены при помощи прямых равноточных измерений, с точностью на один-два порядка большей, чем требуемая точность измерений и распределены по нормальному закону.

Предлагается получить ряд из десяти - пятнадцати наблюдений. Если взять большой ряд, потребуется много однообразных вычислений; маленький ряд приводит к чрезмерному росту случайной составляющей погрешности.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Обработка результатов производится в соответствии с ГОСТ 8.207 – 76. В этом разделе дополнительно к ГОСТ 8.207 – 76 приводятся необходимые для выполнения расчётов сведения и комментарии.

### КОММЕНТАРИИ К ГОСТ 8.207 – 76. РАЗДЕЛ 2. РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКА ЕГО СРЕДНЕГО КВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений вычисляют по формуле:



$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

Для оценки среднего квадратического отклонения результата измерения находим случайные отклонения результатов отдельных наблюдений, принимаем их за остаточные погрешности,

$$v_i = x_i - \bar{A} .$$

Для минимизации случайной и систематической составляющих погрешности, при наличии нескольких групп наблюдений (реализаций), используют два свойства остаточных погрешностей: сумма остаточных погрешностей равна нулю,

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0 ,$$

и сумма квадратов остаточных погрешностей минимальна,

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \min .$$

Для дальнейших вычислений рекомендуется выбрать реализацию, удовлетворяющую этим условиям.

Степень рассеяния результатов наблюдений вокруг среднего арифметического значения характеризуется средним квадратическим отклонением, (СКО):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n}} .$$

Среднее квадратическое отклонение результатов наблюдения – числовая характеристика из теории вероятности, в практической метрологии вместо него применяется оценка СКО:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n-1}} .$$

Оценка СКО учитывает ограниченность объём а выборки: при малом объём е выборки оценка СКО будет заметно больше, чем СКО, а при большом объём е выборки оценка СКО не будет заметно отличаться от СКО.

Полученное значение СКО результатов наблюдения не так универсально, как среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений и не может быть непосредственно принято за значение случайной погрешности результата измерения. Для этого, прежде всего, необходимо восстановить размерность физической величины, ликвидировав нелинейность преобразования физической величины, разделив СКО результатов наблюдения на корень из  $n$ . Полученное значение принимают за оценку среднего квадратического отклонения результата измерения:

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}} .$$

#### КОММЕНТАРИИ К ГОСТ 8.207 – 76. РАЗДЕЛ 4. ДОВЕРИТЕЛЬНЫЕ ГРАНИЦЫ НЕИСКЛЮЧЁННОЙ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Источники систематической погрешности разнообразны. Её могут вызвать условия измерения, метод измерения, особенности средства измерения и другие причины. Существенный вклад вносит и трудно исключается инструментальная составляющая систематической погрешности. Эту составляющую будем рассматривать в качестве неисключённой систематической погрешности. При этом различаются основная и дополнительная инструментальная погрешность. Обе погрешности определяются классом точности средства измерения. Дополнительная погрешность возникает при выходе условий измерения за нормальные пределы и принимается равной удвоенному значению основной погрешности.

Предположим, что наблюдения были получены в результате измерения цифровым вольтметром, имеющим класс точности, обозначенный цифрой 1,5 в кружочке, причем условия измерения выходили за нормальные пределы.

Основная инструментальная погрешность:

$$\theta_{\text{осн}} = A \frac{1,5\%}{100\%} .$$

Дополнительная инструментальная погрешность:

$$\theta_{\text{доп}} = 2\theta_{\text{осн}} .$$

## КОММЕНТАРИИ К ГОСТ 8.207 – 76. РАЗДЕЛ 6. ФОРМА ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

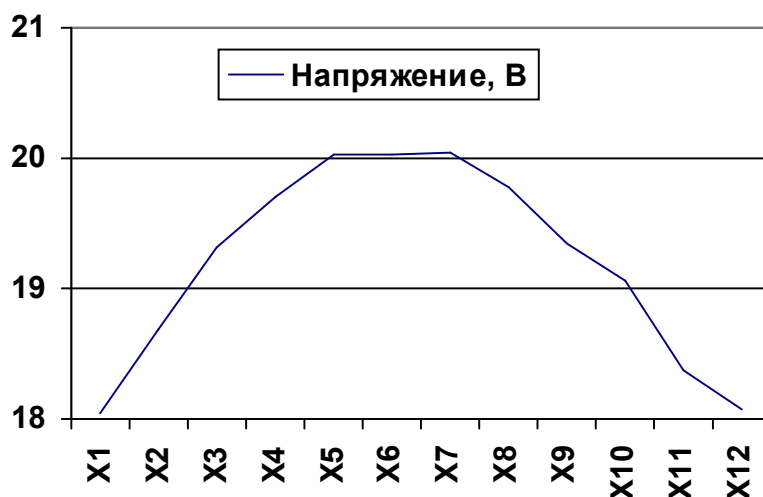
Запись результата измерений производится по следующим правилам:

- результат измерения округляется в соответствии с его погрешностью, т.е. записывается с той же точностью, что и погрешность;
- погрешность указывается двумя значащими цифрами, если первая равна 1 или 2;
- погрешность указывается одной значащей цифрой, если первая равна 3 или более.

Все остальные цифры должны быть не значащими. Значащей цифрой называется любая цифра числа, записанного в виде десятичной дроби, начиная с первой слева отличной от нуля цифры, независимо от того, находится ли она до запятой или после запятой.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

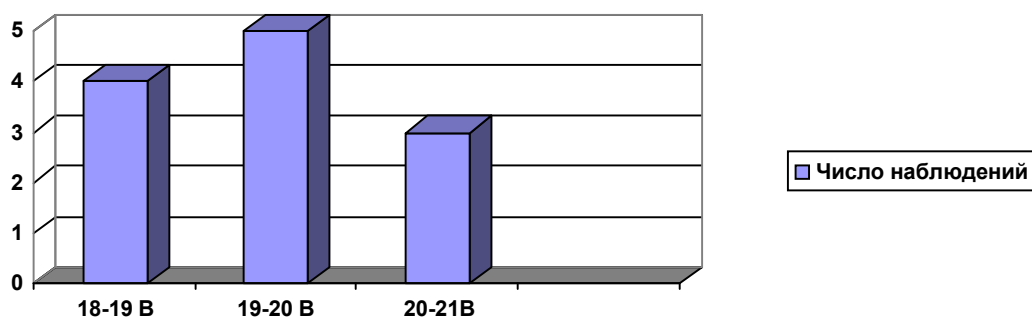
На первой странице – название работы, фамилии студентов, номер группы, дата начала работы. На второй странице – таблицы и графики распределения результатов наблюдений, в соответствии с рисунками 1.1 и 1.2. На третьей и четвёртой страницах – комментарии, формулы и расчёты. Завершается отчёт записью трех значений:  $\bar{A}$ ,  $\Delta$ ,  $P$ .



$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
119,31	119,71	220,03	220,04	220,05	119,78	119,35	119,35

Рис. 1.1. Таблица и график результатов наблюдений

Распределение результатов в графическом виде принято характеризовать плотностью вероятности, плотностью распределения; одним из вариантов могут быть гистограммы (рис. 1.2).



18 – 19 В	19 – 20 В	20 – 21 В
4	5	3

Рис. 1.2. Таблица и гистограмма результатов наблюдений

## ЗАЩИТА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Допускается предоставление одного отчёта на четверых студентов. Защита работы осуществляется в форме собеседования, при этом сравниваются отчёты, делаются выводы, наименее активные студенты отвечают на контрольные вопросы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем особенность технических измерений?
2. Какие измерения называются прямыми?
3. Какие измерения называются равноточными?
4. Чем измерения отличаются от наблюдений?
5. Какие наблюдения бывают кроме многократных наблюдений?
6. В каких случаях рекомендуются многократные наблюдения?
7. Почему среди многих методов обработки результатов наблюдений мы рассматриваем подробно именно прямые равноточные измерения с многократными наблюдениями?
8. Может ли быть применена эта методика для других видов измерений, например, для совместных измерений?
9. Может ли быть применена эта методика, если результаты наблюдений распределены не по нормальному закону?
10. Какие ещё законы распределения часто встречаются в технических измерениях?
11. Какое влияние на результаты измерения оказывает закон распределения результатов наблюдений?
12. Какие исходные данные в этой методике измерения?
13. Что такое  $\bar{A}$ ,  $\Delta$ ,  $P$ ?
14. В каком случае сумма остаточных погрешностей равна нулю?

15. Почему выбираем вариант с наименьшей суммой квадратов остаточных погрешностей?
16. Какую оценку называют несмещённой?
17. Какую оценку называют эффективной?
18. Какую оценку называют состоятельной?
19. Какая из этих трех оценок является предпочтительной?
20. Встречаются ли на практике состоятельные оценки?
21. Можно ли утверждать, что эффективная оценка одновременно является несмещённой?
22. Можно ли утверждать, что несмещённая оценка одновременно является эффективной?
23. Определение какого параметра –  $\bar{A}$ ,  $\Delta$ , или  $P$  является наиболее трудоемким в этой методике измерений?
24. Из каких составляющих складывается  $\Delta$ ?
25. Почему выбрана именно такая классификация погрешностей?
26. Как еще можно классифицировать погрешности?
27. Почему  $\Delta$  не равна арифметической сумме составляющих?
28. Как определяется  $P$ ?
29. В каких случаях  $P = 0,95$  или  $0,99$  или больше  $0,99$ ?
30. Следует стремиться к максимальной точности измерений или достаточно находиться в рамках требуемой точности измерений?
31. Когда при фиксированном числе наблюдений назначаем более высокую вероятность, повлияет ли это на точность, сообщаемую в результатах измерения, т.е.  $\Delta$  тоже возрастает? Или уменьшается? Или остаётся неизменной? Или меняется независимо от вероятности?
32. Как одновременно увеличивать достоверность и точность измерений?
33.  $\Delta$  – это значение, или интервал значений?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ 8.207 – 76.** Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст]. — Введ. 1977 – 01 – 01. — М. : Изд-во стандартов, 1976. — 13 с.
2. **Сергеев, А. Г.** Метрология [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Г. Сергеев, В. В. Крохин. — М. : Логос, 2000. — 408 с.
3. **Гмурман, В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. — М. : Высш. шк., 1998. — 496 с.
4. **Козлов, М. Г.** Метрология и стандартизация [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. Г. Козлов. — М. : Изд-во МГУП, 2001. — 372 с.
- Тартаковский, Д. Ф.** Метрология, стандартизация и технические средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. — М. : Высш. шк., 2001. — 205 с.

Виды измерений



**ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.** Измерения, при которых искомое значение физической величины получают непосредственно на средстве измерений, без дополнительных расчётов.

**КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.** Измерения, при которых значение искомой физической величины определяют по результатам прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

В современных средствах измерений вычисление искомой величины нередко производится встроенными вычислительными средствами. В этом случае результат измерения определяется способом, характерным для прямых измерений, нет необходимости отдельного учёта методической погрешности расчёта, она входит в погрешность средства измерений. Такие измерения относят к прямым измерениям.

В измерительных системах, в которых метрологические характеристики нормированы для их компонентов по отдельности, получают косвенные измерения.

**СОВОКУПНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.** Проводимые одновременно измерения нескольких одноимённых величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

**СОВМЕСТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.** Проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

Методы измерений

Методы	
<i>В зависимости от способа применения меры*</i>	
Метод непосредственной оценки	Метод сравнения с мерой

Значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого преобразования, шкала которого заранее была отградуирована с помощью меры.

Метод сравнения с мерой – общее название методов измерений, в которых измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой, при этом погрешность результата измерений обусловлена в основном незначительной погрешностью меры. К таким методам, в частности, относятся: дифференциальный метод, нулевой метод, метод замещения, метод совпадений.

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД**, разностный метод, один из вариантов метода сравнения с мерой. Дифференциальный метод измерения превращается в нулевой метод измерения, если разность между измеряемой величиной и мерой доводят до нуля.

**НУЛЕВОЙ МЕТОД** (компенсационный метод), один из вариантов метода сравнения с мерой, в котором на нулевой прибор воздействует сигнал, пропорциональный разности измеряемой и известной величин, причем эту разность доводят до нуля. Пример: измерение электрических величин (электродвижущей силы, электрического сопротивления, емкости и др.) с применением потенциометров и измерительных мостов.

**МЕТОД ЗАМЕЩЕНИЯ**, один из методов сравнения с мерой, состоит в замещении измеряемой величины мерой, подбираемой или регулируемой таким образом, чтобы показания измерительного прибора оставались неизменными; при этом значение измеряемой величины равно номинальному значению меры.

**МЕТОД СОВПАДЕНИЙ**, вариант метода сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют по совпадению сигналов или отметок на шкалах (реализуется, напр., при помощи нониуса или стробоскопа, в последнем случае метод иногда называют стробоскопическим).

---

\*Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера. Меры используют как эталоны, образцовые или рабочие средства измерений. В зависимости от погрешностей, меры подразделяют на классы точности.

Комментарии к ГОСТ 8.207 – 76

Номер ГОСТа	ГОСТ 8.207 – 76
Заглавие на русском языке	Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения
Начало действия:	01.01.1977
Статус	Действует
Взамен	–
Код ОКС(МКС):	17.020 – Метрология и измерения в целом
Группа (Код КГС):	T80 – Правила, нормы, положения в области обеспечения единства измерений (основополагающие НТД)
Технический комитет России:	–
Межгосударственный комитет:	53 – Общие нормы и правила государственной системы обеспечения единства измерений
Кол-во изменений:	0
Количество страниц:	13 (A5)

В стандарте ГОСТ 8.207 – 76 имеются ссылки на следующие стандарты.

Номер ГОСТа	ГОСТ 8.010 – 90
Заглавие на русском языке	ГСИ. Методики выполнения измерений.
Начало действия:	01.01.92
Статус	Утратил силу на территории РФ. Действует ГОСТ Р 8.563 – 96
Взамен	ГОСТ 8.010 – 72, ГОСТ 8.467 – 82, ГОСТ 8.504 – 84, ГОСТ 8.505 – 84, ГОСТ 8.507 – 84
Код ОКС(МКС):	17.020 – Метрология и измерения в целом
Группа (Код КГС):	T80 – Правила, нормы, положения в области обеспечения единства измерений (основополагающие НТД)
Технический комитет России:	–
Межгосударственный комитет:	–
Кол-во изменений:	0
Количество страниц:	17 (A5)



Номер ГОСТа	ГОСТ Р 8.563 – 96
Заглавие на русском языке	ГСИ. Методики выполнения измерений.
Начало действия:	01.07.97
Статус	Действует
Взамен	ПР 50.2.001 – 94
Код ОКС(МКС):	17.020 – Метрология и измерения в целом
Группа (Код КГС):	T80 – Правила, нормы, положения в области обеспечения единства измерений (основополагающие НТД)
Технический комитет России:	–
Межгосударственный комитет:	–
Количество изменений:	2 (ИУС 8/2001, 10/2002)
Количество страниц:	23 (А4)
Примечания	Переиздание 2002; на территории других государств - участников Соглашения о проведении согласованной политики в области стандартизации действует ГОСТ 8.010 – 90

В стандарте ГОСТ 8.207 – 76 также имеются ссылки на следующие стандарты, которые в настоящее время утратили силу, но продолжают применяться до разработки новых стандартов.

ГОСТ 8.011 – 72 Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений.

ГОСТ 11.002 – 73 Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений.

ГОСТ 11.004 – 74 Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения.

ГОСТ 11.006 – 74 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.

## «ИСТИННОЕ» СРЕДНЕЕ И ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ

Вероятно, большинство из вас использовало такую важную описательную статистику, как среднее. Среднее – очень информативная мера «центрального положения» наблюдаемой переменной, особенно если сообщается ее доверительный интервал. Исследователю нужны такие статистики, которые позволяют сделать вывод относительно генеральной совокупности в целом. Одной из таких статистик является среднее. Доверительный интервал для среднего представляет интервал значений вокруг оценки, где с данным уровнем доверия находится «истинное» (неизвестное) среднее генеральной совокупности. Например, если среднее выборки равно 23, а нижняя и верхняя границы доверительного интервала с уровнем  $p = 0,95$  равны 19 и 27 соответственно, то можно заключить, что с вероятностью 95% интервал с границами 19 и 27 накрывает среднее генеральной совокупности. Если вы установите больший уровень доверия, то интервал станет шире, поэтому возрастает вероятность, с которой он «накрывает» неизвестное среднее генеральной совокупности, и наоборот. Хорошо известно, например, что чем «неопределенней» прогноз погоды (т.е. шире доверительный интервал), тем вероятнее он будет верным. Заметим, что ширина доверительного интервала зависит от объема  $n$  или размера выборки, а также от разброса (изменчивости) данных. Увеличение размера выборки делает оценку среднего более надежной. Увеличение разброса наблюдаемых значений уменьшает надежность оценки. Вычисление доверительных интервалов основывается на предположении нормальности наблюдаемых величин. Если это предположение не выполнено, то оценка может оказаться плохой, особенно для малых выборок. При увеличении объема выборки, скажем, до 100 или более, качество оценки улучшается и без предположения нормальности выборки.

### Форма распределения, нормальное распределение

Важным способом «описания» переменной является форма ее распределения, которая показывает, с какой частотой значения переменной попадают в определенные интервалы. Эти интервалы, называемые интервалами группировки, выбираются исследователем. Обычно исследователя интересует, насколько точно распределение можно аппроксимировать нормальным. Простые описательные статистики дают об этом некоторую информацию. Например, если асимметрия (показывающая отклонение распределения от симметричного) существенно отличается от 0, то распределение несимметрично, в то время как нормальное распределение абсолютно

симметрично. Итак, у симметричного распределения асимметрия равна 0. Асимметрия распределения с длинным правым хвостом положительна. Если распределение имеет длинный левый хвост, то его асимметрия отрицательна. Далее, если эксцесс (показывающий «остроту пика» распределения) существенно отличен от 0, то распределение имеет или более закругленный пик, чем нормальное, или, напротив, имеет более острый пик (возможно, имеется несколько пиков). Обычно, если эксцесс положителен, то пик заострен, если отрицательный, то пик закруглен. Эксцесс нормального распределения равен 0.

### Статистический уровень значимости ( $p$ -уровень)

Статистическая значимость результата представляет собой меру неуверенности в его «истинности» (в смысле «репрезентативности выборки»). Более точно,  $p$ -уровень это показатель, обратно пропорциональный надежности результата. Более высокий  $p$ -уровень соответствует более низкому уровню доверия найденным в выборке результатам, например, зависимостям между переменными. А именно,  $p$ -уровень представляет собой вероятность ошибки, связанной с обобщением наблюдаемого результата на всю генеральную совокупность. Например,  $p$ -уровень равен 0,05 (т.е. 1/20) показывает, что имеется 5% вероятность того, что найденная в выборке зависимость между переменными является лишь случайной особенностью данной выборки. Иными словами, если данная зависимость в генеральной совокупности отсутствует, а вы многократно проводили бы подобные эксперименты, то примерно в одном из двадцати повторений эксперимента можно было бы ожидать такой же или более сильной зависимости между изучаемыми переменными. Во многих исследованиях  $p$ -уровень 0,05 рассматривается как «приемлемая граница» уровня ошибки.

## 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. РАБОТА С КОМПЛЕКТОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

### 2.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основная цель лабораторной работы – научить студентов работать с различными приборами для измерения электрических сигналов.

Данная лабораторная работа показывает, почему необходимо наличие в лаборатории комплекта разнообразных измерительных приборов, а также демонстрирует возможность различных способов измерения одного и того же сигнала. Основной упор в данной лабораторной работе делается на проведении некоторых измерений, которые не удастся осуществить с традиционным лабораторным оборудованием. Таким образом, студенты увидят пределы применимости существующих приборов. В ходе работы студенты изучат функциональные возможности следующих приборов: цифровых универсальных измерительных приборов (мультиметров), цифрового осциллографа, генератора стандартных сигналов, частотомера и виртуальных приборов *LabVIEW*.

### 2.2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной лабораторной работе вы проведёте серию измерений одного и того же сигнала, используя различные типы измерительных приборов. Инженеры и научные сотрудники применяют различные типы измерительных приборов для измерения разнообразных параметров и характеристик входного сигнала. Вы будете определять форму сигнала, измерять его частоту, период и амплитудное и среднеквадратическое значение напряжения. Определение формы сигнала по осциллограмме – это качественное измерение, а все остальные – количественные. Помните, что период и частота – взаимнообратные величины. Это означает, что вы можете измерить одну величину, а затем вычислить другую (косвенные измерения). По возможности вы измерите их непосредственно (прямые измерения).

На первый взгляд, кажется, что самый простой объект измерения – это значение напряжения. Но это не совсем верно. Уровень напряжения не всегда представляет собой однозначно определённое значение. Для сигналов, изменяющихся во времени, принципиально важно, как и в какой момент времени вы производите измерение напряжения. Вы можете измерять напряжение в отдельные моменты времени (еще говорят – производить выборку значений), усреднять несколько точек или выполнить измерение среднеквадратического (эффективного) значения. Термин среднеквадратическое означает, что измерительный прибор определяет среднее значение из суммы квадратов напряжений, а затем извлекает корень этой величины. Когда цифровой мультиметр измеряет переменное (AC) напряжение, он определяет именно его среднеквадратическое значение.

Измерительные приборы, используемые в этой лабораторной работе, представлены цифровым осциллографом, частотомером и цифровым мультиметром. Вы будете измерять один и тот же сигнал, используя все эти приборы. Методические указания к лабораторной работе помогут вам предпринять необходимые действия при каждом измерении при помощи каждого из устройств.

## ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Осциллографы (рис. 2.1) предназначены для графического отображения зависимости величины напряжения исследуемого сигнала от времени. Экран осциллографа разбит на квадраты (или деления шкалы) сеткой. Вы можете масштабировать как вертикальную шкалу, устанавливая различные значения Вольт на Деление (*Volts per Division*), так и горизонтальную шкалу, посредством изменения значения Время на Деление (*Time per Division*).



Рис. 2.1. Цифровой осциллограф MS – 2000

Современные осциллографы обычно двухканальные, т.е. имеют два луча с одинаковой развёрткой во времени, но с отдельной для каждого регулировкой вертикальной развёртки. Указанные свойства описывают лишь малую часть сервисных возможностей современных (особенно цифровых) осциллографов, однако они наиболее принципиальны для типичных применений этого типа электроизмерительного прибора. Используя осциллограф, вы сможете измерить период и амплитуду напряжения осциллограммы. Зная период, можно вычислить частоту; по известной амплитуде напряжения и осциллограмме сигнала, вы сможете вычислить среднеквадратическое напряжение. Например, среднеквадратическое напряжение синусоидального сигнала получается умножением его амплитуды на корень из двух. Заранее перед лабораторной работой получите формулу для среднеквадратического значения треугольной и прямоугольной волны.

## ЦИФРОВЫЕ МУЛЬТИМЕТРЫ

Не так давно цифровые мультиметры (ЦММ) были дорогими и мало функциональными приборами, которые выполняли функций не больше, чем их аналоговые эквиваленты (измеряли напряжение, силу тока и сопротивление).

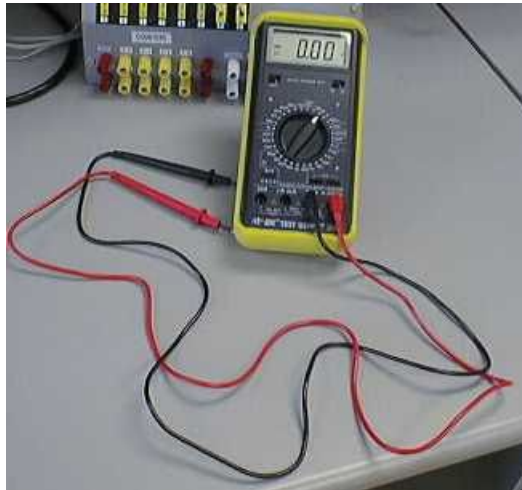


Рис. 2.2. Цифровой мультиметр UT83

Сегодня ЦММ представлены обширным рядом от недорогих карманных моделей с базовыми свойствами до моделей с графическим отображением данных, которые выглядят и функционируют подобно осциллографу. Цифровой мультиметр UT83, представленный на рис. 2.2, обладает некоторыми дополнительными возможностями, которые вы изучите в данной лабораторной работе. С помощью своего ЦММ вы проведёте измерения напряжения переменного (*AC*) и постоянного (*DC*) тока и частоты. Вы на практике оцените пределы возможностей цифровых мультиметров.

## ГЕНЕРАТОРЫ ФУНКЦИЙ

Генератор функций (функциональный генератор) даёт на выходе сигналы определённой частоты и заданной формы. Он может генерировать три основных типа сигналов – синусоидальный, треугольный (пилообразный) и прямоугольный. Генератор Г6 – 26 работает в диапазоне частот от 0,001 Гц до 10 кГц.

## ЧАСТОТОМЕРЫ

Работа с частотомером достаточно проста: подключите его к источнику сигнала, и он выдаст вам численное значение частоты сигнала. Лицевая панель частотомера MXC160 представлена на рис. 2.3. Принцип построения этого прибора также несложен. Плата ввода – вывода аналоговых сигналов (*Data Acquisition* – *DAQ*) преобразовывает периодический сигнал в последовательность импульсов, каждый из которых генерируется на нарастающем фронте сигнала при переходе через нулевое напряжение. Затем счётчик подсчитывает эти импульсы в течение заданного периода времени. Зная количество импульсов за интервал времени (*pulses per time period*), счётчик

может легко вычислить количество периодов в секунду, Гц (*cycles per second*) и вывести на экран численное значение частоты. Обычно для подсчета пользователь должен задать интервал времени накопления импульсов, именуемый также временными воротами (*gate time*).



Рис. 2.3. Лицевая панель частотомера *MXC160*

## ВИРТУАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Семь несложных виртуальных приборов (ВП), созданных в программной среде *LabVIEW*, предлагаются Вашему вниманию в конце этой лабораторной работы. Как правило, каждый виртуальный прибор представляет собой измерительный комплекс, аналогичные комплексы мы собирали в предыдущих заданиях этой лабораторной работы.

### 2.3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

#### КОМПОНЕНТЫ РАБОЧЕГО МЕСТА

На вашем рабочем столе должно быть следующее:

- компьютер с установленной средой *LabVIEW*;
- генератор функций (Г6 – 26);
- цифровой осциллограф (*MS – 2000*) в комплекте с соединительными проводами и щупами;
- цифровой мультиметр *UT83* или *M830B* или *M226C* или *3211D* в комплекте с соединительными проводами и щупами;
- кабель, на одном конце которого байонетный соединитель (CP50), на другом конце однополюсные вилки.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В данной лабораторной работе вы будете определять форму сигнала, частоту, период и уровни напряжений (амплитудное, среднеквадратическое и постоянное), используя различные измерительные приборы. По возможности, проводите прямые (непосредственные) измерения. Если непосредственное

измерение величины невозможно, ее значение необходимо вычислить по косвенному измерению. Если величину невозможно измерить ни прямым, ни косвенным видом, укажите, какой из параметров нельзя измерить с помощью имеющегося оборудования.

Далее представлены последовательности проведения эксперимента для каждого измерительного прибора. Подразумевается, что у вас имеется некоторый опыт проведения измерений напряжения и осциллограмм. Каждым из приборов на заданной частоте следует измерить все параметры по очереди, и только потом переходить к измерению следующим прибором. Например, установив на генераторе первую из пяти предлагаемых частот, исследуйте амплитуду сигнала, его форму, частоту и период с помощью осциллографа, затем попытайтесь сделать то же самое с помощью мультиметра и частотомера. Установив на генераторе вторую из предлагаемых пяти частот, повторите все измерения, и т.д.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1. Опишите следующим образом все устройства измерения, имеющиеся в наличии на вашем рабочем месте:

- название и тип устройства;
- изготовитель и номер модели;
- входной диапазон напряжения (если имеется);
- входной частотный диапазон (если используется);
- период синхронизации входного диапазона (если используется);
- класс точности, сведения о поверке.

2. Опишите следующим образом используемый генератор функций:

- название и тип устройства;
- изготовитель и номер модели;
- диапазон частот генерируемых сигналов;
- типы генерируемых сигналов;
- класс точности, сведения о поверке.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Так как основная цель лабораторной работы – научиться работать с различными приборами для измерения электрических сигналов, то порядок проведения лабораторной работы приводится не поэтапно. Вместо этого, предоставляется информация о принципах функционирования каждого из приборов и указано, какие измерения необходимо провести. Прочитайте порядок выполнения и постарайтесь самостоятельно изучить данное оборудование. Если не ясны какие-то детали, проконсультируйтесь у преподавателя.



Начертите в черновике (или получите у преподавателя) таблицу данных.

**Таблица данных 1**

Измеряемая ФВ, параметры измеряемого сигнала	Комплект измерительных приборов								
	Частотомер			Осциллограф			Цифровой мультиметр		
	Знач.ФВ	Ед. ФВ	Вид	Знач.ФВ	Ед. ФВ	Вид	Знач.ФВ	Ед. ФВ	Вид
<b>Частота</b>									
10,0 кГц синус									
1,0 кГц синус									
1,0 кГц прямоуг.									
6,0 Гц синус									
0,1 Гц синус									
<b>Период</b>									
10,0 кГц синус									
1,0 кГц синус									
1,0 кГц прямоуг.									
6,0 Гц синус									
0,1 Гц синус									
<b>Амплитуда</b>									
10,0 кГц синус									
1,0 кГц синус									
1,0 кГц прямоуг.									
6,0 Гц синус									
0,1 Гц синус									
<b>Напр. перем.</b>									
10,0 кГц синус									
1,0 кГц синус									
1,0 кГц прямоуг.									
6,0 Гц синус									
0,1 Гц синус									
<b>Напр. пост.</b>									
10,0 кГц синус									
1,0 кГц синус									
1,0 кГц прямоуг.									
6,0 Гц синус									
0,1 Гц синус									

Далее перечислены задания, затем описывается процедура сбора всех данных, необходимых для выполнения лабораторной работы, порядок проведения экспериментов и описание работы отдельных измерительных приборов.

Задание 1. Установите генератор функций для генерации следующей волны:

10,0 кГц, синусоидальная форма.

Задание 2. Измерьте значения физических величин (частота, период, напряжение), используя каждое из последующих устройств:

- частотомер;
- осциллограф;
- цифровой мультиметр.

Зарегистрируйте измеренные значения в таблице данных.

Таблица данных содержит колонку для каждого измерительного прибора. Запишите значения каждого параметра, указанного в таблице. Укажите в колонке "Вид" измерили ли вы величину непосредственно (прямое измерение) или косвенно, или данный параметр вообще не может быть измерен. Используйте литеру "П" для прямого измерения, "К" для косвенных (вычисленных) значений, и "Н", если параметр невозможно измерить.

Задание 3. Проверьте, согласуются ли измеренные значения друг с другом. Отметьте, что некоторые результаты измерений не совпадают, и придется проводить повторные измерения (проведите их после того, как будут выполнены все пять заданий).

Задание 4. Продемонстрируйте методику измерений преподавателю.

Попросите преподавателя проверить ваши измерения и подписать вашу таблицу данных.

Задание 5. Выполните пункты 1 ÷ 4 для каждого из сигналов:

- 10,0 кГц синусоидальная форма;
- 1,0 кГц синусоидальная форма;
- 1,0 кГц прямоугольная форма;
- 6,0 Гц синусоидальная форма;
- 0,1 Гц синусоидальная форма.

Далее изложен порядок выполнения эксперимента с помощью каждого измерительного прибора

## ЧАСТОТОМЕР

Частотомер измеряет только частоту и период. Он не предназначен для измерения никаких других параметров. Ниже приведены этапы измерения. Тщательно изучите их и попытайтесь реализовать. Если в течение самостоятельной работы с данным прибором у вас возникнут вопросы – задайте их преподавателю.

1. Включите генератор функций.
2. Включите частотомер.
3. На генераторе функций установите напряжение не более 30 мВ.
4. Кабелем с байонетным разъёмом соедините выходное гнездо генератора функций со входом частотомера *CH A*.
5. Используя частотомер, проверьте частоту и период сигнала, поступающего с генератора функций:

- клавишей *CHAN* выберите канал *A*;
- выберите режим измерения частоты, нажав клавишу *FREQ*.

Частотомер позволит вам непосредственно измерить частоту входного сигнала. Наиболее трудно бывает подобрать временной интервал, в котором значения частоты можно зарегистрировать с наибольшим числом значащих цифр (максимальным разрешением). Частотомеры и генераторы функций обычно имеют серию кнопок или переключатель для выбора временных ворот (*gate time*). Выбранное значение задаёт время считывания импульсов. Подсчитав количество импульсов, поступивших за данный период времени, устройство определяет частоту (количество импульсов в секунду) в Герцах.

- Клавишей *GATE* выберите минимальную величину временных ворот и зафиксируйте (не записывая в таблицу данных) измеренное значение.

- Выберите следующее, большее значение интервала накопления и зафиксируйте (не записывая в таблицу данных) измеренное значение. Попробуйте все возможные значения временных ворот. Зарегистрируйте в таблице данных значение с наивысшим разрешением (при максимальном значении временных ворот).

- Выберите режим измерения периода, нажав клавишу *PERI*.
- Зарегистрируйте в таблице данных значение с наивысшим разрешением (при максимальном значении временных ворот).

## ОСЦИЛЛОГРАФ

1. Включите осциллограф.
2. Соедините выход генератора функций и вход осциллографа.
3. Используя осциллограф, проверьте период, частоту и амплитудное значение сигнала, поступающего с генератора функций.

- Для автоматической настройки (выбор пределов измерения, синхронизация) нажмите клавишу *AUTO*. При этом автоматически изменится

положение переключателя чувствительности: Вольт-на-Деление (*Volts/Division*) так, чтобы на экране была отчётливо видна осциллограмма. Осциллограмма должна полностью уместиться на экране и занимать большую его часть. Автоматически изменится значение Время-на-Деление (*Time/Division*), чтобы вы могли отчётливо видеть не менее одного полного периода осциллограммы. Будут задействованы такие значения Время-на-Деление, чтобы один полный период занимал максимум горизонтальной шкалы. Автоматически осциллограф переключится в режим измерения переменного напряжения.

- Подсчитайте количество горизонтальных делений (квадратов) в одном полном периоде. Используя заданные значения временной развёртки, вычислите и запишите в свою таблицу данных временной интервал, соответствующий одному полному периоду (если на экране отображено несколько полных периодов, то вы можете определить полное время всех этих периодов, а затем вычислить среднее время периода).

- Подсчитайте количество вертикальных делений на полной амплитуде сигнала (размах сигнала), начиная отсчёт от минимальной точки осциллограммы и заканчивая на максимальной. Амплитудное значение составляет половину размаха сигнала. Зная чувствительность вертикальной развёртки, подсчитайте и запишите амплитудное значение сигнала.

- Вопрос: какая физическая величина отображена осциллограммой?

- В правой нижней части дисплея индицируется в цифровой форме измеренное значение напряжения. Зафиксируйте это значение, сравните его с записанным амплитудным значением. Сделайте вывод о том, какое значение индицируется – амплитудное или среднеквадратическое или постоянное?

- В левой нижней части дисплея индицируется в цифровой форме измеренное значение частоты. Запишите это значение.

4. Из значений периода вычислите и запишите значение частоты для проведённых выше измерений. Сравните полученное значение с записанным ранее значением, индицированным в цифровой форме.

5. Вычислите и запишите среднеквадратическое значение напряжения для проведённых выше измерений.

6. Исследуйте ту же осциллограмму, переключив осциллограф в режим измерения постоянного напряжения.

- Нажмите клавишу *GPRL* и выберите режим измерения постоянного напряжения (*DC*).

- В данном режиме измерьте амплитуду сигнала. Для этого подсчитайте число делений между линией нулевого значения (делит экран пополам) и максимальным по модулю значением сигнала.

- Вопрос: полученное амплитудное значение отличается от значения, полученного в режиме измерения переменного напряжения? Объясните, почему?

## ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

Цифровой мультиметр (ЦММ) позволяет измерять постоянное (*DC*) и переменное (*AC*) напряжение, а также частоту переменного напряжения.

1. Измерение постоянного и переменного напряжения. Цифровые мультиметры имеют несколько диапазонов для измерения напряжения, тока и сопротивления. Чтобы обеспечить наивысшее разрешение, некоторые измерители имеют автоматический выбор предела (АВП) измерения. Однако устройство *UT83* не располагает функцией АВП. Для получения наивысшего разрешения при измерениях, выполните следующие действия.

- Определите максимальное значение физической величины, которую вы хотите измерять (постоянного или переменного напряжения, тока или сопротивления).

- Выберите на мультиметре диапазон измерений, в который укладывается максимальное значение физической величины.

- Соедините мультиметр и генератор функций.

- Измените выбранный диапазон на пониженный и проведите отсчёт измеренного значения.

- Повторяйте предыдущий этап до тех пор, пока на дисплее вместо числа не покажется строка "*OL*" (*OveLLoad* – Перегрузка).

- Увеличьте выбранный диапазон на одно деление.

- Считайте показания с дисплея и запишите их в свою таблицу данных.

2. Измерение частоты. Прибор *UT83* позволяет измерить значение частоты сигнала в одном фиксированном диапазоне. Измерение производится в следующем порядке.


- Установите переключатель, расположенный на передней панели мультиметра, в положение *kHz*.


- Соедините мультиметр и генератор функций.

- Считайте значение на дисплее и запишите в свою таблицу данных.

## ВИРТУАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Загрузите программу *LabVIEW*.

Откройте файл **1\_Function Generator example.vi** (Пример функционального генератора). Убедитесь в работоспособности функционального генератора, щёлкнув клавишу . Определите на лицевой панели виртуального прибора поле элементов, относящихся к функциональному генератору и поле элементов, относящихся к осциллографу. Проверьте взаимное соответствие заданных на генераторе и полученных на осциллографе параметров сигнала. Зафиксируйте эти действия в отчёте, в виде двух столбиков: слева — задано (форма, амплитуда и частота, установленные на генераторе); справа — получено (форма, амплитуда и частота, полученные на осциллографе).

Откройте файл **2\_Sin.vi**. Комплекс каких приборов представлен на лицевой панели виртуального средства измерений? Щёлкните клавишу . Заполните таблицу данных 2, кроме последней строки.

**Таблица данных 2**

Амплитуда сигнала ( $U_A$ )	Форма сигнала	Значение напряжения на аналоговом вольтметре ( $U_V$ )	Значение напряжения на цифровом вольтметре ( $U_V$ )
1 В	Синусоидальный		
	Треугольный		
	Пилообразный		
	Прямоугольный		
	Синусоидальный	220 В	

Прокомментируйте различие измеренных значений напряжений для сигналов одинаковой амплитуды, но разной формы.

Какие формы сигналов соответствуют следующим функциональным зависимостям?


$$U_V = U_A,$$

$$U_V = U_A / \sqrt{2},$$

$$U_V = U_A / \sqrt{3}.$$

Подтвердите свои выводы соответствующими вычислениями и зафиксируйте эти действия в отчёте.

Заполните последнюю строку таблицы. Объясните причину возникновения погрешности моделирования.

Откройте файл **3\_Formula Waveform example.vi** (Пример назначения формы волны через формулу). Запустите виртуальный прибор клавишей . При необходимости синхронизации изображения, щёлкните тумблер «*reset signal*». Выбирайте спектр сигнала, переключая поле «*formula selection*». Прокомментируйте изменение формы сигнала в зависимости от числа гармонических составляющих (гармоник) в спектре сигнала, задаваемых формулой. Обратите внимание, что уже при двух гармониках, определённым образом подобранных по амплитуде и частоте, сигнал начинает приобретать прямоугольную форму. Можете поэкспериментировать с формой сигнала, набирая формулу в окне «*user formula*».

Откройте файл **4\_Signal Generation and Processing.vi** (Генерирование и обработка сигнала). Комплекс приборов, представленных на лицевой панели виртуального средства измерений, можно разделить на два блока. Слева — два задающих генератора (*Input signal 1* и *Input signal 2*). Справа (сверху вниз) два осциллографа и анализатор спектра.

Этим комплексом приборов выполним моделирование измерительных процессов. Проследим трансформацию сигнала в процессе измерения его параметров. При этом будем рассматривать сигнал, влияющую физическую величину внешнюю (помеха) и внутреннюю (полоса пропускания средства измерения).

Пусть *Input signal 1* имитирует сигнал, *Input signal 2* имитирует помеху; первый осциллограф показывает состояние сигнала и помехи на входе средства измерения; второй осциллограф показывает их состояние на выходе средства измерения; анализатор спектра показывает полосу пропускания средства измерения (вертикальная красная линия) и спектры сигнала и помехи. Спектральные составляющие (гармоники), расположенные левее вертикальной красной линии, находятся в полосе пропускания средства измерения и оказывают влияние на результат измерения. Гармоники, расположенные справа, находятся вне полосы пропускания средства измерения (отфильтровываются), их влияние на результат измерения оказывается незначительным.

Анализируя картину на втором осциллографе, приходим к выводу, что результаты измерений могут быть недостоверны, т.к. вместе с сигналом мы измеряем помеху. Попробуем разнести сигнал и помеху по частоте и по форме, выбрать полосу пропускания средства измерения, чтобы выполнить противоречивые требования: не исказить сигнал и избавиться от помехи.


Частоту сигнала выберем 50 Гц, частоту помехи выберем 200 Гц. Форму сигнала выберем синусоидальной, форму помехи — прямоугольной. Плавно перемещая мышью красную линию анализатора спектра, установим её между единственной гармоникой сигнала и первой гармоникой помехи. Анализируя картину на втором осциллографе, приходим к выводу, что результаты измерений достоверны, т.к. помеха исчезла (осциллограмма помехи выродилась в прямую), а сигнал остался без искажений.

Какой сигнал легче измерить без искажений, синусоидальный или прямоугольный? Попробуйте выполнить моделирование для прямоугольного сигнала. Попробуйте оставить от прямоугольного сигнала две гармоники, похожа ли картина такого сигнала на сигнал, синтезированный по формуле в виртуальном приборе *3\_Formula Waveform example.vi*? Прокомментируйте изменение спектра в зависимости от изменения частоты и формы сигналов.

В левой нижней части лицевой панели расположено окно выбора фильтра. Тип фильтра определяет степень подавления вне полосы пропускания и степень искажения в полосе пропускания. Допустим, что моделируемое средство измерения — вольтметр. Будет ли меняться значение напряжения, считываемого с вольтметра, если амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) вольтметра будет принимать разные формы (в данном примере изменение АЧХ эквивалентно выбору фильтра). Объясните причину возникновения основной и дополнительной инструментальной погрешности.

Откройте файл *5\_Get Waveform Time Array example.vi* (Пример формы волны за период времени). Меняя значения частоты и амплитуды, наблюдайте

на экране изменение формы сигнала. Можно ли назвать полученные изображения фигурами Лиссажу? Как измерять параметры такого сигнала?

Откройте файл **6\_Pulse Demo** (Демонстрация импульса). Запустите виртуальный прибор клавишей . При помощи этого виртуального прибора можно моделировать влияние на результат измерения внешних факторов (регулятором уровня помехи, «*Additive Noise*») и внутренних факторов (выбором порядка фильтра, «*Filter Order*»). На осциллографе, расположенном в правой части лицевой панели, красным цветом изображён измеряемый сигнал, а зелёным цветом — тот же сигнал, но искажённый помехами. Необходимо добиться максимального совпадения этих сигналов и исходя из полученного опыта сформулировать требования для высокоточных измерений.

В чём, на ваш взгляд, состоит особенность прецизионных измерений, выполняемых в процессе поверки? В процессе поверки выполняют передачу размеров единиц физических величин от эталонов высокого уровня к эталонам нижнего уровня и далее к образцовым и рабочим средствам измерений. Прокомментируйте метрологическую проблему, состоящую в том, что чем с большей точностью стремятся выполнить измерения, тем большее воздействие оказывают на объект измерения, и тем с меньшей точностью могут получить результат измерения.

Откройте файл **7\_Function Generator example** (Пример функционального генератора). Назовите тип волны в электрическом сигнале: продольная или поперечная. В чём их отличие? Имеет ли значение учет типа волны при определении основных характеристик сигнала: частота, амплитуда, фаза?

## ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчёт по лабораторной работе должен содержать следующие пункты: название, цель, введение, результаты и выводы. Отчёт должен включать в себя следующее.

- Описание лабораторного оборудования.
- Результаты измерений, выполненные в виде таблицы данных 1 и таблицы данных 2.
- Дополнительный анализ каждой из проблем, возникших при измерениях и их решение. В частности, обсудите измерения, которые дали различные результаты на разных измерительных приборах, и данные, которые неточны вследствие ограничений оборудования.
- Назовите преимущества и недостатки каждого измерительного устройства, сгруппировав их характеристики по следующим признакам: погрешность (оценить по классу точности, либо косвенно, по числу значений, стабильно индицируемых на дисплее), динамический диапазон (оценить согласно предусмотренным на измерительных устройствах пределам измерений), универсальность (возможность прямых измерений различных физических величин).



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните назначение на осциллографе регулировок Вольт/деление и Время/деление.

2. Когда осциллограф установлен в режим измерения постоянного напряжения, напоминает ли отображаемая на экране осциллограмма сигнал постоянного напряжения?

3. Отличается ли амплитуда сигнала, измеренная в режиме постоянного напряжения от того же значения, но измеренного в режиме переменного напряжения? Почему?

4. Как влияет (влияет ли?) увеличение интервала накопления на погрешность частотомера?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Патон, Б.** *LabVIEW: основы аналоговой и цифровой электроники* [Текст] : лабораторный практикум / Барри Патон. — Изд-во университета *Dalhousie*, 2002. — 190 с.

2. **Небель, Д. Й.** Методы измерения осциллограмм [Текст] : лабораторный практикум / Д. Й. Небель, Д. Р. Бландино, Д. Й. Лоренс. — Изд-во университета *James Madison*, 2002. — 120 с.

3. **Атамальян, А. Г.** Приборы и методы измерения электрических величин [Текст] : учеб. пособие для втузов / Э. Г. Атамальян. — М. : Высш. шк., 1989. — 408 с.

### **3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА**

#### **3.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Цель лабораторной работы – научиться выполнять измерения параметров качества экспертным методом и таким образом получить опыт практической работы в одном из наиболее динамично развивающихся разделов метрологии – квалиметрии, а также получить навыки работы со стандартами.

#### **3.2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

##### **КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА**

Качество продукции, совокупность свойств продукции, обуславливающих её способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с её назначением. Количественная оценка качества продукции – определение численных значений показателей качества продукции.

Свойства, составляющие качество продукции, характеризуются непрерывными или дискретными величинами – показателями качества, количественные характеристики которых – параметры качества.

Показатель качества продукции, характеризующий одно ее свойство, называется единичным, два и более свойств – комплексным. Интегральный показатель качества продукции – комплексный показатель качества продукции, отражающий соотношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции и суммарных затрат на ее создание и эксплуатацию или потребление. Относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении её с соответствующей совокупностью базовых показателей, называется уровнем качества продукции. Критерием оптимальности уровня качества продукции, т.е. её эффективности, может служить интегральный показатель качества продукции.

##### **КВАЛИМЕТРИЯ**

Квалиметрия (от лат. *qualis* — какой по качеству и ...метрия), раздел метрологии, объединяющий методы количественной оценки качества продукции. Основные задачи квалиметрии: обоснование номенклатуры показателей качества, разработка методов измерения параметров качества.

Чтобы уверенно пользоваться инструментами квалиметрии, целесообразно сопоставить хорошо известные этапы технических измерений и квалиметрии. Такое сопоставление показано на диаграмме рис. 3.1.



Рис. 3.1. Сопоставление этапов технических измерений и квалиметрии

На диаграмме рис. 3.1 показано, что понятиям «физические величины» и «значения физических величин» в технических измерениях аналогичны понятия «показатели качества» и «параметры качества» в квалиметрии. Аналогия становится особенно очевидной, когда в квалиметрии удаётся реализовать инструментальные методы измерений.

Инструментальный метод основывается на использовании технических средств измерений. Этим методом определяется, например, масса продукции, габаритные размеры изделия, время наработки на отказ и т.п. Измерения могут выполняться по любой измерительной шкале (см. прил. 3.3), но чаще других используется шкала отношений. Инструментальный метод является наиболее распространенным во всех отраслях народного хозяйства, особенно в промышленности. В силу объективности, высокой точности и возможности автоматизации измерений, этот метод является предпочтительным и должен применяться всегда, когда это возможно и экономически оправдано.

Экспертный метод измерения показателей качества применяется тогда, когда использование технических средств измерений невозможно, сложно или экономически неоправданно. Очень часто к нему прибегают, например, при определении эргономических и эстетических показателей. Экспертами используются все измерительные шкалы, но чаще других – шкалы порядка и интервалов. К экспертным методам относятся органолептический, социологический. Экспертные методы измерения показателей качества часто дополняются комбинаторным методом, а также методом Дельфы.

В органолептическом методе измерений в качестве первичных измерительных преобразователей используются органы чувств экспертов –

зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса, а также чувство гравитации. Широкое распространение органолептический метод получил в медицине, пищевой и парфюмерной промышленности.

Социологический метод измерения показателей качества строится на массовых опросах населения или отдельных его социальных групп, члены которых тем самым выступают в качестве экспертов. Опрос может проводиться путем анкетирования, интервьюирования, голосования и т.п. Этот метод требует научно обоснованных систем сбора и обработки информации, предполагающих широкое применение средств автоматики и вычислительной техники. Социологический метод используется для определения значений показателей качества товаров народного потребления (например, спроса), выяснения общественного мнения и т.п.

Комбинаторный метод измерений сочетает инструментальное и органолептическое измерение качества продукции. Метод Дельфы содержит алгоритм действий, позволяющий достигать при экспертных измерениях заданных уровней точности и достоверности результатов.

Непосредственно с помощью измерений определяются обычно параметры единичных показателей качества. Патентно-правовые и экономические показатели, показатели однородности продукции, стандартизации и унификации получают расчётным путем. Посредством расчётов находят также значения комплексных показателей, как правило, путём взвешенного суммирования, хотя определение весовых коэффициентов при этом производится обычно экспертным или инструментальным методом. Во всех случаях нужно помнить, что результаты измерений являются случайными значениями параметров качества и математические действия над ними должны выполняться по правилам математической статистики.

Особое место в обеспечении качества продукции принадлежит стандартизации. Стандартизация устанавливает оптимальные показатели качества, параметрические ряды продукции, методы контроля и испытаний.

## СТАНДАРТ ГОСТ Р 51061 – 97

ГОСТ Р 51061 – 97 распространяется на системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам, имеющим выход в телефонную сеть общего пользования, и устанавливает параметры и нормы качества передачи (воспроизведения) речи и методы измерений следующих показателей:

- слоговой разборчивости речи методом артикуляционных испытаний;
- фразовой разборчивости речи при ускоренном по сравнению с нормальным темпом произношении;
- качества речи испытываемой системы низкоскоростной передачи речи по методу парных сравнений с качеством речи эталонного тракта по контрольным фразам;
- качества речи в реальных условиях работы методом абонентской оценки.

## ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В ГОСТ Р 51061 – 97 применяются следующие термины с соответствующими определениями.

Низкоскоростные кодеки – устройства преобразования речевых сигналов в цифровой поток двоичных символов, следующих со скоростью менее 16 кбит/с, входящие в состав систем низкоскоростной передачи речи.

Разборчивость речи – относительное количество правильно принятых элементов речи (звуков, слогов, слов, фраз), выраженное в процентах от общего числа переданных элементов.

Качество речи – параметр, характеризующий субъективную оценку звучания речи в испытываемой системе низкоскоростной передачи речи, выраженную в баллах по пятибалльной шкале или в процентах предпочтения при сравнении с эталонным трактом.

Эталонный тракт – тракт, показатели качества речи которого известны и с которым сравнивают оцениваемую систему низкоскоростной передачи речи.

Нормальный темп речи – произношение речи со скоростью, при которой средняя длительность контрольной фразы равна 2,4 с.

Ускоренный темп речи – произношение речи со скоростью, при которой средняя длительность контрольной фразы равна 1,5 – 1,6 с.

Выход в сеть ТФОП – организация взаимодействия между низкоскоростной цифровой системой и сетью ТФОП, при котором становится возможным установление соединения и передачи речевой информации между пользователем низкоскоростной цифровой системы и абонентом ТФОП.

Узнаваемость голоса говорящего – возможность слушателей отождествлять звучание голоса, принимаемого из телефонного тракта, с конкретным лицом, известным слушателю ранее.

Смысловая разборчивость – показатель степени правильного воспроизведения информационного содержания речи.

Интегральное качество речи – показатель, характеризующий общее впечатление слушателя от принимаемой речи.

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика.

ТФОП – телефонная сеть общего пользования.

ТЧ канал – канал тональной частоты с полосой пропускания 300 – 3400 Гц.

## НИЗКОСКОРОСТНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ

К низкоскоростным системам относят системы передачи речи, в которых речевой сигнал в цифровой форме передается со скоростью от 16 кбит/с и меньше до 0,6 – 0,8 кбит/с вместо стандартной скорости цифрового потока 64 или 32 кбит/с. При этом, в зависимости от метода обработки речевого сигнала и

скорости цифрового потока, обеспечивается большой диапазон градаций разборчивости и качества переданной речи.

Все методы низкоскоростной передачи речи основаны на параметрическом кодировании, т. е. её представлении не речевым колебанием, а набором медленно изменяющихся параметров, определяющих понятность речи и в ряде случаев узнаваемость говорящего, требующих для своей передачи меньшей скорости цифрового потока.

При представлении речи параметрическими методами из речевого сигнала исключается часть имеющейся в нем избыточности, но одновременно происходит и изменение его структуры, приводящее к изменению характера звучания переданной речи. Это изменение обычно тем сильнее, чем меньше скорость передающего речь цифрового потока. При скорости менее 2 кбит/с речь, как правило, имеет механическое, «роботоподобное» звучание.

Основным элементом систем низкоскоростной передачи речи являются низкоскоростные кодеки, преобразующие речевой сигнал в низкоскоростные цифровые потоки, передаваемые по цифровым каналам связи.

В ГОСТ Р 51061 – 97 для упрощения записи во всех случаях вместо термина «система низкоскоростной передачи речи» используется термин «низкоскоростной кодек» или «кодек».

ГОСТ Р 51061 – 97 позволяет оценить пригодность низкоскоростных систем передачи речи для выхода в телефонную сеть общего пользования только по критерию качества звучания передаваемой речи.

Другие параметры речевого сигнала (например, его задержка), также являющиеся определяющими при выходе данной системы в ТФОП, установлены соответствующими нормативными документами Министерства связи РФ и Рекомендациями МСЭ.

### 3.3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

#### ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

При выполнении измерений применяются следующие приборы и оборудование:

- шумомер согласно ГОСТ 17187, класс точности 3;
- персональный компьютер с устройством ввода-вывода речевой информации с характеристиками, соответствующими магнитофонам первой группы сложности согласно ГОСТ 24863;
- набор дискет с речевыми тестами и слоговыми артикуляционными таблицами;
- окончное телефонное оборудование с электроакустическими характеристиками, соответствующими телефонному аппарату класса 0 согласно ГОСТ 7153;
- магнитофон первой группы сложности согласно ГОСТ 24863;

- динамические головные телефоны;
- контрольный тракт – телефонный канал с полосой пропускания частот 300 – 3400 Гц.

В основу лабораторной работы положен Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 51061 – 97 «Системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам. Параметры качества речи и методы измерений». Применение этого стандарта в данной лабораторной работе основано на следующих допущениях:

- в качестве системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам может быть использована одна из систем: система оператора сотовой связи; система городской телефонной связи, основанная на цифровой АТС; система учрежденческой телефонной связи, основанная на цифровой мини-АТС;

- изучение экспертного метода оценки качества на примере оценки качества речи может быть произведено без привязки к технической системе передачи, в условиях акустического канала связи;

- в качестве эталонного тракта может быть применен акустический канал связи.

В соответствии с этими допущениями произведена адаптация текста стандарта для его применения в учебных целях и рассматриваются два варианта выполнения лабораторной работы:

- оценка качества речи в системе низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам;

- изучение экспертного метода оценки качества на примере оценки качества речи в условиях акустического канала связи.

Выбор варианта выполнения лабораторной работы определяется преподавателем, в зависимости от условий проведения эксперимента и от структуры аудитории.

## ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЯМ

Измерения должны проводиться в нормальных климатических условиях согласно ГОСТ 15150. Уровень и форма спектра акустического шума в помещении для испытаний должны быть указаны в технических условиях на испытуемый тракт конкретного типа. При отсутствии указаний, испытания проводят при уровне шума не более 50 дБ (по шкале А ГОСТ 13107).

Измерения проводит бригада операторов (дикторы и аудиторы), не имеющих явных дефектов речи и слуха. Измерения разборчивости речи проводит бригада в возрасте от 18 до 30 лет, в составе которой должно быть не менее трёх дикторов (двух мужчин и одной женщины) и трёх аудиторов. Состав бригады аудиторов произвольный. Аудиторы могут быть дикторами.

## ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

### Вариант 1

Для оценки качества речи в системе низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам потребуется оборудование в одном из трех вариантов комплектации:

- два подключенных сотовых телефона;

- два телефонных аппарата, подключенных к цифровой городской АТС;

- два телефонных аппарата, подключенных к цифровой учрежденческой АТС.

В этом варианте оценивается качество речи, переданной по телефонному каналу связи. В качестве эталонного канала применяется короткий (около одного метра) акустический канал.

### Вариант 2

Для изучения экспертного метода оценки качества на примере оценки качества речи в условиях акустического канала связи потребуется аудитория, в которой участники эксперимента могли бы быть визуально изолированы друг от друга.

В этом варианте оценивается качество речи, переданной по протяженному (около десяти метров) акустическому каналу связи. В качестве эталонного канала применяется короткий акустический канал.

## ЗАДАНИЕ № 1. ИЗМЕРЕНИЕ СЛОГОВОЙ РАЗБОРЧИВОСТИ РЕЧИ МЕТОДОМ АРТИКУЛЯЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Получите у преподавателя слоговые таблицы и бланки для измерений слоговой разборчивости речи методом артикуляционных испытаний, а также набор дискет с речевыми тестами и слоговыми артикуляционными таблицами.

Слоговую разборчивость измеряют по методике и таблицам слогов согласно ГОСТ Р 50840. Измерения проводит бригада операторов, прошедшая специальное обучение (тренировку), путём прослушивания на головные телефоны слоговых артикуляционных таблиц. Бригаду операторов рекомендуется обучить в два этапа.

На первом этапе обучения операторы знакомятся со структурой речевого материала, осваивают технику его произношения, а также адаптируются к восприятию речи, искажённой в испытуемом тракте или в соответствующих акустических условиях. Чтение слогов осуществляется диктором ровным голосом, четко, но без подчеркивания отдельных звуков, с постоянным уровнем громкости речи, который контролируется шумомером на испытательной фразе «Не видали мы такого невода». Слоги следует читать в следующем ритме: один слог за три секунды.



Диктор должен выдерживать постоянный ритм речи на протяжении чтения всей таблицы. Аудитор записывает принятые слоги в бланк, форма которого приведена на рис. 3.1. Если аудитор не понял переданного слога, в соответствующей графе бланка ставится прочерк.

Таблица № _____					Дата _____				
Диктор _____					Тип тракта _____				
Аудитор _____					Уровень шума, дБ _____				
Чтение таблицы: в столбик, в строчку									
1.		11.		21.		31.		41.	
2.		12.		22.		32.		42.	
3.		13.		23.		33.		43.	
4.		14.		24.		34.		44.	
5.		15.		25.		35.		45.	
6.		16.		26.		36.		46.	
7.		17.		27.		37.		47.	
8.		18.		28.		38.		48.	
9.		19.		29.		39.		49.	
10.		20.		30.		40.		50.	

Рис. 3.1. Форма бланка для измерений слоговой разборчивости речи методом артикуляционных испытаний

На втором этапе тренировки проводится цикл измерений при использовании испытуемого тракта. Цикл измерений включает приём всеми аудиторами от всех дикторов по пять таблиц. Пятёрки таблиц должны иметь номера 1 – 5, 6 – 10, 11 – 15 и т.д. Использование при измерении неполной пятёрки таблиц не допускается. Для цикла измерений вычисляется среднее значение разборчивости  $S$  согласно (1).

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \quad (1)$$

где  $S_i$  – результат единичного измерения, определяется как число совпавших слогов в таблице, прочитанной диктором и в таблице, записанной аудитором;  $S_i$  определяется в процентах к общему числу слогов в таблице;  $N$  – число единичных измерений (число заполненных аудиторами бланков).

Тренировку считают законченной при достижении бригадой стабильных результатов измерения разборчивости согласно допустимым отклонениям, приведённым в табл. 3.1. Аудиторы, результаты которых имеют отклонение больше допустимых, подлежат замене или исключению из бригады.

**Таблица 3.1**

Допустимые отклонения от средних значений слоговой разборчивости

Среднее значение разборчивости, %	Отклонение от среднего значения, %
91 и более	5
86 – 90	6
81 – 85	7
71 – 80	8
70 и менее	9

При работе в акустических шумах бригада приступает к измерениям спустя 5 – 10 минут после пребывания в условиях шума. Полученное в результате измерений среднее значение разборчивости речи классифицируется по нормам согласно ГОСТ Р 50840 (табл. 3.2). Так определяется класс качества аппаратуры связи. Для работы в телефонной сети общего пользования допускается использовать кодеки, обеспечивающие класс качества по разборчивости речи не ниже первого.

**Таблица 3.2**

Классы качества и нормы разборчивости речи

Класс качества по разборчивости	Характеристика класса качества	Норма слоговой разборчивости речи для трактов с параметрическим кодированием, %	Норма слоговой разборчивости речи для трактов с кодированием волны речевого сигнала, %
Высший	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	>93	>80
I	Понимание передаваемой речи без затруднений	86 – 93	56 – 80
II	Понимание передаваемой речи с некоторым напряжением внимания, без переспросов и повторений	76 – 85	41 – 55
III	Понимание передаваемой речи с некоторым напряжением внимания, редкими переспросами и повторениями	61 – 75	25 – 40
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением внимания, частыми переспросами и повторениями	45 – 60	<25

Записи в отчёт для вариантов 1 и 2:

- записать номер и название задания, ссылку на данные для измерений, фамилии дикторов и аудиторов;

- в качестве исходных данных записать  $S_i$  – результаты единичных измерений;

- записать вычисление среднего значения разборчивости  $S$ .

- записать класс качества по разборчивости и сделать заключение о допустимости работы оборудования в телефонной сети общего пользования (в варианте 2 – заключение о пригодности акустических параметров аудитории для обмена информацией без малейшего напряжения внимания или без затруднений);

- приложить к отчёту заполненные аудиторами бланки измерений слоговой разборчивости речи методом артикуляционных испытаний.

## ЗАДАНИЕ № 2. ИЗМЕРЕНИЕ ФРАЗОВОЙ РАЗБОРЧИВОСТИ ПРИ УСКОРЕННОМ ТЕМПЕ ПРОИЗНОШЕНИЯ

Фразовую разборчивость при ускоренном темпе произношения измеряют по таблицам, состоящим из коротких (3 – 4 слова) фраз, в соответствии с ГОСТ Р 50840. Таблицы и бланки измерений слоговой разборчивости речи методом артикуляционных испытаний получить у преподавателя.

Бригада операторов состоит из дикторов (не менее 3 человек – мужчин и женщин) и аудиторов (4 – 5 человек). Тренировка бригады операторов не производится. Диктор читает одну таблицу фраз в нормальном темпе произношения (одна фраза за 2,4 с) и вторую таблицу в ускоренном темпе (одна фраза за 1,5 – 1,6 с). Пауза между фразами должна быть 5 – 6 с. Аудитор прослушивает сначала таблицу, прочитанную диктором в нормальном темпе, затем таблицу, прочитанную тем же диктором в ускоренном темпе.

Цикл измерений состоит из передачи всеми дикторами по 10 таблиц каждому и приема всеми аудиторами всех переданных таблиц.

Фразу считают неправильно принятой, если хотя бы одно слово принято неправильно, пропущено или добавлено. Фразовую разборчивость  $J$  находят как среднее значение для цикла измерений согласно (2).

$$J_{н,у} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N j_i, \quad (2)$$

где  $J_{н,у}$  – фразовая разборчивость при нормальном или при ускоренном темпе произношения, %;

$j_i$  – результат единичного измерения, %; вычисляется как процент правильно принятых фраз для нормального и ускоренного темпов произношения;

$N$  – число единичных измерений.

Показатель снижения фразовой разборчивости вычисляют согласно (3).

$$(3) \quad \Delta = J_y / J_n .$$

Этот показатель для кодеков, предназначенных для работы в телефонной сети общего пользования, должен быть не менее 0,98.

Записи в отчёт для вариантов 1 и 2:

- записать номер и название задания, фамилии дикторов и аудиторов;
- в качестве исходных данных записать  $J_i$  – результаты единичных измерений;
- записать вычисления фразовой разборчивости  $J_{н,у}$ , показателя снижения фразовой разборчивости при ускоренном темпе произношения  $\Delta$ ;
- сделать заключение о допустимости работы оборудования в телефонной сети общего пользования (в варианте 2 – заключение о пригодности акустических параметров аудитории для обмена информацией без малейшего напряжения внимания или без затруднений);
- приложить к отчёту заполненные аудиторами бланки измерений слоговой разборчивости речи методом артикуляционных испытаний.

### ЗАДАНИЕ № 3. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕЧИ МЕТОДОМ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

Качество речи оценивают по контрольным фразам, в соответствии с ГОСТ Р 50840. Получите у преподавателя текст с контрольными фразами, бланки оценки качества речи по методу парных сравнений. Бригада аудиторов должна состоять из 10 – 12 человек. Аудиторами не могут быть специалисты по кодам речи. Число дикторов должно быть не менее 5 (мужчины и женщины).

Каждую контрольную фразу диктор произносит два раза – один раз через оцениваемый тракт, другой – через эталонный тракт. Порядок чередования трактов – случайный. Контрольные фразы, произносимые диктором, могут быть записаны на магнитофон или в персональный компьютер, а затем прослушаны аудиторами в записи. Пауза между фразами 2 – 3 с, пауза между парами фраз 4 – 5 с.

Возможны два варианта оценки качества речи, либо по критерию «лучше - хуже», либо в баллах по пятибалльной шкале. В первом случае при прослушивании аудитор в бланке, образец которого приведен в прил. 3.1, ставит знак «+» в графе 1 или 2 в зависимости от того, какая фраза, по его мнению, звучит лучше. В том случае, если аудитор не может отдать предпочтение какому-либо варианту, он оставляет обе графы незаполненными. При подсчете числа предпочтений в случае незаполненных граф обоим вариантам засчитывается по 0,5.

Результат испытаний оценивают средним числом предпочтений согласно (4).

$$P_{1,2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i, \quad (4)$$

где  $P_{1,2}$  – среднее число предпочтений первого или второго варианта произношения фразы;

$p_i$  – число случаев предпочтений соответственно первого или второго вариантов произношения фразы;

$N$  – число единичных измерений (число дикторов).

Далее вычисляют разницу чисел предпочтений согласно (5).

$$\Delta P = \frac{|P_1 - P_2|}{P_1 + P_2} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $P_1$  – среднее число предпочтений первого варианта произношения фразы;  
 $P_2$  – среднее число предпочтений второго варианта произношения фразы.

При  $\Delta P \leq 15$  % тракты считают одинаковыми, т. е. оцениваемый тракт с низкоскоростным кодеком передает речь с тем же качеством, что и стандартный телефонный тракт, и по показателю качества речи, измеренного по методу парных сравнений, пригоден для использования в телефонной сети общего пользования.

При  $15\% < \Delta P \leq 75$  % полагают, что кодек вносит искажения, заметные только при парных сравнениях испытательных фраз и незаметные при реальном телефонном обмене. Такой кодек по показателю качества речи, измеренного по методу парных сравнений, пригоден для использования в телефонной сети общего пользования.

При  $\Delta P > 75$  % критерий «лучше - хуже» неприменим. Полагают, что в передаваемой оцениваемым кодеком речи имеются искажения, хотя и не мешающие ее восприятию, но легко различимые. В этом случае качество речи по методу парных сравнений необходимо оценивать в баллах, согласно табл. 3.3.

При оценке трактов в баллах, аудитор, прослушав одну и ту же фразу, прошедшую через сравниваемые тракты, выставляет в графах 1 и 2 оценки в баллах с точностью до 0,1, соответствующие, по его мнению, качеству того и другого тракта, руководствуясь табл. 3.3 и учитывая, что качество речи, передаваемой через стандартный ГЧ канал, принято оценивать в 4 балла при работе от телефонного аппарата с динамическим микрофоном и при номинальном уровне сигнала.

Таблица 3.3

Соответствие между качеством речи и оценкой в баллах

Характеристика качества речи	Баллы
Естественность звучания речи. Высокая узнаваемость. Полное отсутствие помех и искажений	4,6-5,0
Естественность звучания речи. Высокая узнаваемость. Отдельные малозаметные искажения или помехи	4,0-4,5
Естественность звучания речи. Высокая узнаваемость. Слабое постоянное присутствие отдельных видов искажений или помех	3,5-3,9
Незначительное нарушение естественности и узнаваемости. Заметное присутствие отдельных искажений или помех	3,0-3,4
Заметное нарушение естественности и ухудшение узнаваемости, присутствие нескольких видов искажений (картавость, гнусавость и др.) или помех	2,5-2,9
Существенное искажение естественности и ухудшение узнаваемости. Постоянное присутствие искажений типа картавость, гнусавость и др. или помех	1,7-2,4
Сильные искажения типа картавость, гнусавость и др. Механический голос. Наблюдается потеря естественности и узнаваемости	<1,7

При оценке результата измерений в баллах средний балл вычисляют согласно (6).

$$(6) \quad X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$$

где  $x_i$  – результат единичного измерения;

$N$  – число единичных измерений.

К выходу в ТФОП по параметру качества речи, определенного по методу парных сравнений, допускаются кодеки, получившие оценку, отличающуюся от оценки эталонного тракта не более чем на 0,6 балла.

Записи в отчёт:

- записать номер и название задания, фамилии дикторов и аудиторов;
- указать вариант оценки качества речи, либо по критерию «лучше - хуже», либо в баллах по пятибалльной шкале;
- в качестве исходных данных записать, в зависимости от выбранного варианта, либо  $x_i$  – результаты единичных измерений, в баллах, либо  $p_i$  – число случаев предпочтений;

- в зависимости от выбранного варианта, записать либо вычисления  $P_{1,2}$  – среднего числа предпочтений первого или второго варианта произношения фразы, а также вычисление разницы чисел предпочтений, либо вычисление  $X$  – среднего балла;

- сделать заключение о допустимости работы оборудования в телефонной сети общего пользования (либо заключение о пригодности акустических параметров аудитории для обмена информацией без малейшего напряжения внимания или без затруднений);

- приложить к отчёту заполненные аудитором бланки оценки качества речи по методу парных сравнений.

#### ЗАДАНИЕ № 4. МЕТОД АБОНЕНТСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕЧИ

Качество речи оценивают абоненты, ведущие служебные или личные переговоры и давшие согласие на участие в испытаниях. Для испытаний используют телефон, включенный в местную ТФОП, которым пользуется большое число лиц – сотрудников данного учреждения и его посетителей. Телефонные разговоры ведутся на произвольную тему, специальных текстов произносить не требуется.

Во время испытаний при помощи переключателя П телефон абонента 1 подключают к абонентской линии либо непосредственно, либо через оцениваемый кодек. Абонент 1 оценивает качество речи обычного телефонного тракта (канал тональной частоты, ТЧ) для данного соединения, используемого в качестве эталонного тракта, и качество речи составного тракта (канал ТЧ плюс низкоскоростной кодек).

В качестве абонента 2 выступают все корреспонденты абонента 1 – абоненты местной ГТС или выходящие на нее по каналам междугородней связи, вызывающие абонента 1 или отвечающие на его вызов. Оценки производят по обменам, вызванным текущей потребностью абонентов (служебной или частной). Нежелательно производить оценку по переговорам, специально организованным для этой цели. Число контрольных связей должно быть не менее 50.

После каждого разговора абонент 1 выставляет оценки по интегральному качеству речи, по узнаваемости и по смысловой разборчивости для тракта с использованием низкоскоростного кодека и без него в специальный бланк, образец которого приведён в прил. 3.2.

Оценку в баллах ставят только абоненты 1. Оценку производят только в случае разговора с корреспондентом, голос которого знаком. Оценку производят по пятибалльной шкале в соответствии с градациями качества разговора, приведёнными в таблицах 3.4 – 3.6.

Форма бланка для оценки интегрального качества речи приведена в прил. 3.2. Бланки для оценки качества речи по узнаваемости и для оценки качества речи по смысловой разборчивости имеют такую же форму.

Ввиду сложности процедуры получения исходных данных для метода абонентской оценки качества речи, получите исходные данные у преподавателя в виде заполненных бланков. Среднюю оценку качества речи для каждого критерия и вида тракта вычисляют согласно (7).

$$(7) \quad X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$$

где  $x_i$  – единичная оценка разговора, балл;

$N$  – число единичных оценок (разговоров).

Если любая из этих трёх средних оценок для тракта с кодеком отличается от средней оценки обычного телефонного тракта не более чем на 0,2 балла, считают, что кодек не ухудшает качества телефонной связи и может быть применён в телефонной сети общего пользования. Разница средних оценок более 0,6 является недопустимой для работы кодека в телефонной сети общего пользования. К выходу в телефонную сеть общего пользования не допускаются также кодеки, у которых вычисленные согласно (7) средние оценки хотя бы по одному из показателей составили менее 3,4 балла.

**Таблица 3.4**

Градации интегрального качества речи

Балл	Оценка качества	Характеристика оцениваемого тракта
5	Отлично	В речи, прошедшей через оцениваемый тракт, незаметны какие-либо дополнительные искажения или помехи по сравнению с речью, прошедшей через эталонный тракт
4	Хорошо	Отличие речи на выходе оцениваемого тракта от речи на выходе эталонного тракта не воспринимается как ухудшение, а наличие незначительных искажений и помех не создает затруднений при разговоре
3	Удовлетворительно	В речи на выходе оцениваемого тракта, по сравнению с эталонным, имеются заметные искажения или помехи, несколько затрудняющие ведение разговора и требующие некоторого напряжения внимания
2	Неудовлетворительно	Искажения и помехи сильные. Ощущается чувство утомления и раздражения. Разговор возможен лишь при сильном напряжении внимания и при условии привыкания к звучанию передаваемой оцениваемым трактом речи
1	Плохо	Разговор практически невозможен из-за сильных искажений или помех



**Таблица 3.5**

## Градации качества речи по узнаваемости

Балл	Оценка качества	Характеристика оцениваемого тракта
5	Отлично	Голос говорящего узнается без затруднения сразу после начала разговора
4	Хорошо	Голос говорящего узнается без затруднений через некоторое время после начала разговора и при повторных разговорах с данным лицом по оцениваемому тракту. После привыкания к звучанию голоса этого лица по оцениваемому тракту узнавание голоса говорящего не вызывает затруднений
3	Удовлетворительно	Голос говорящего узнается с трудом, больше по манере говорить, чем по звучанию. Голоса разных лиц различаются с трудом
2	Неудовлетворительно	Узнаются только голоса лиц с особо характерной манерой говорить. Тембр звучания речи усредненный, не несущий индивидуальных особенностей
1	Плохо	Узнаваемость отсутствует

**Таблица 3.6**Градации качества речи по смысловой разборчивости  
(наличию переспросов, неверно понятых фраз)

Балл	Оценка качества	Характеристика оцениваемого тракта
5	Отлично	Понимание содержания речи корреспондента полное, без переспросов (за исключением случаев всплеска шумов в телефонной сети) для любого голоса, в т. ч. для голосов с некоторыми дефектами произношения
4	Хорошо	Понимание речи полное; возможны переспросы необычных слов, фамилий и терминов
3	Удовлетворительно	Необходимы переспросы отдельных слов и фраз, но в целом ошибочного восприятия речевой информации не происходит
2	Неудовлетворительно	Отдельные слова во фразах не понимаются даже после их повторения при переспросе, их приходится объяснять целыми фразами. Разговор приходится вести в замедленном темпе
1	Плохо	Смысл передаваемой информации понимается с трудом, выпадают целые фразы

Сопоставьте данные, приведённые в таблицах 3.4 – 3.6. Ответьте на следующие вопросы.

1. Достаточно ли оценки интегрального качества речи?
2. Могли бы вы предложить свой вариант оценки качества речи?
3. Возможна ли оценка качества речи инструментальным методом?

Записи в отчёт:

- записать номер и название задания;
- в качестве исходных данных записать  $x_i$  – единичные оценки разговора, в баллах;
- записать вычисления  $X$  – средней оценки качества речи для каждого критерия оценки качества и для каждого вида тракта;
- сделать заключение о допустимости работы оборудования в телефонной сети общего пользования;
- записать краткие ответы на приведённые выше три вопроса;
- приложить к отчёту бланки абонентской оценки качества речи.

## ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчёт по лабораторной работе должен содержать следующие пункты: номер работы, фамилии студентов, выполнивших работу, дата начала работы, название, цель, результаты согласно заданиям из экспериментальной части и выводы. Выводы можно делать в соответствии с контрольными вопросами и заданиями.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие вопросы рассматриваются в квалиметрии?
2. В чём особенность измерений в квалиметрии?
3. В чём заключаются инструментальные методы измерений?
4. В чём заключаются экспертные методы измерений?
5. В каких случаях применяются инструментальные методы?
6. Какие параметры качества речи нормируют в ГОСТ Р 51061 – 97?
7. Какие методы оценки качества речи содержит ГОСТ Р 51061 – 97?
8. Чем отличаются методы оценки качества речи?
9. Совпадают ли результаты, полученные разными методами?
10. Прокомментируйте совпадение или отличие результатов.
11. В задании 3 прокомментируйте корректность вычисления среднего балла согласно данным об измерительных шкалах, приведённым в прил. 3.3.
12. Как выполняется количественная оценка качества?
13. Какова роль стандартизации в обеспечении качества?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ Р 51061 – 97.** Системы низкоскоростной передачи речи по цифровым каналам. Параметры качества речи и методы измерений [Текст]. — Введ. 1998 – 01 – 01. — М. : Изд-во стандартов, 1997. — 24 с.

2. **ГОСТ Р 50840 – 95.** Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости [Текст]. — Введ. 1997 – 01 – 01. — М. : Изд-во стандартов, 1996. — 202 с.

3. **Швандар, В. А.** Стандартизация и управление качеством продукции [Текст] : учебник для вузов / В. А. Швандар, В. П. Панов, Е. М. Купряков [и др.] ; под. общ. ред. проф. В. А. Швандара. — Изд. 6-е, перераб. и доп. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2000. — 487 с.

4. Квалиметрия. Показатели качества [Электронный ресурс] / НВП «ИНЭК». — Электрон. текстовые, граф. дан. (188 кбайт). — 2002. — Режим доступа: <http://sdo.inec.ru/lib>, свободный. — Загл. с домашней страницы Интернета. — Данные соответствуют 28.06.2005.

5. Количественная характеристика измеряемых величин [Электронный ресурс] / НВП «ИНЭК». — Электрон. текстовые, граф. дан. (59 кбайт). — 2002. — Режим доступа: <http://sdo.inec.ru/lib>, свободный. — Загл. с домашней страницы Интернета. — Данные соответствуют 28.06.2005.

6. Большая Советская энциклопедия [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые, граф. дан. (1,8 Гбайт). — М. : Большая Рос. энцикл. [и др.], 2005.

### Приложение 3.1

Форма бланка для оценки качества речи по методу парных сравнений

Дата \_\_\_\_\_ Аудитор \_\_\_\_\_

Вид аппаратуры \_\_\_\_\_

Фразы	Диктор 1		Диктор 2		Диктор 3		Диктор 4		Диктор 5		Диктор 6	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												

### Приложение 3.2

Форма бланка для оценки интегрального качества речи

Номер телефона абонента 2	ФИО абонента 1	Продолжительность разговора	Оценка качества разговора в баллах								
			по общему качеству		по узнаваемости		по разборчивости				
			Кодек	ТЧ	Кодек	ТЧ	Кодек	ТЧ			

### **Виды измерительных шкал**

Расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемых величин образуют **шкалу порядка**. Построив людей по росту, можно, пользуясь шкалой порядка, сделать вывод о том, кто выше кого, однако сказать на сколько выше или во сколько раз нельзя.

Для облегчения измерений по шкале порядка некоторые точки на ней можно зафиксировать в качестве опорных (**реперных**). Знания, например, измеряют по реперной шкале порядка, имеющей следующий вид: неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично. Точкам реперной шкалы могут быть поставлены в соответствие цифры, называемые баллами. Недостатком реперных шкал является неопределенность интервалов между реперными точками. Поэтому баллы нельзя складывать, вычитать, перемножать, делить и т.п.

Более совершенными в этом отношении являются шкалы, составленные из строго определенных интервалов. Общепринятым, например, является измерение времени по шкале, разбитой на интервалы, равные периоду обращения Земли вокруг Солнца (летоисчисление). Такая шкала называется **шкалой интервалов**. По шкале интервалов можно уже судить не только о том, что один размер больше другого, но и о том, на сколько больше, т.е. на шкале интервалов определены такие математические действия, как сложение и вычитание.

Если на шкале интервалов в качестве нулевой точки возможно выбрать такую, в которой размер не принимается условно равным нулю, а равен нулю на основании фундаментальных физических процессов, то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение размера и определять не только, на сколько один размер больше или меньше другого, но и во сколько раз он больше или меньше. Эта шкала называется **шкалой отношений**. Примером может служить температурная шкала Кельвина. В ней за начало отсчёта принят абсолютный нуль температуры, при котором прекращается тепловое движение молекул. Шкала отношений является наиболее совершенной из всех рассмотренных шкал. На ней определено наибольшее число математических операций: сложение, вычитание, умножение, деление.

## 4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА

### 4.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомление с назначением, техническими характеристиками и принципами работы измерительных приборов лабораторного практикума.

В комплект приборов входят:

- вольтметр универсальный цифровой В7 – 38;
- генератор сигналов специальной формы Г6 – 26;
- осциллограф универсальный С1 – 65А;
- частотомер электронно-счётный ЧЗ – 34.

### 4.2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

#### ВОЛЬТМЕТР УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ В7 – 38

Вольтметр В7 – 38 предназначен для измерения постоянного и переменного напряжения, сопротивления и силы тока.

Внешний вид прибора показан на рис. 4.1. На лицевой панели расположены: входные клеммы, цифровой индикатор и переключатель рода работ «V=», «V~», «kΩ». Прибор работает от сети переменного тока 220 + 22 В, частотой 50±0,5 Гц. Кабель питания с сетевой вилкой расположен на задней панели прибора, здесь же расположены электрический цифровой интерфейс, заземляющий контакт, предохранители и ручка баланса нулевого отсчёта.



Рис. 4.1. Внешний вид вольтметра В7 – 38

Измеряемое напряжение постоянное или переменное, в пределах  $10^{-5} \div 3 \cdot 10^2$  В, подключается к входным клеммам. Кнопочный переключатель рода работ устанавливается в соответствующее положение «V=» или «V~». При измерении переменных токов и напряжений вольтметр индицирует действующее (среднеквадратическое) значение.

Предел измерения устанавливается автоматически и отображается на цифровом индикаторе перемещением запятой.

Погрешность измерения значительно увеличивается при измерении переменных сигналов, особенно на высоких частотах (диапазону частот  $10 \div 100$  кГц соответствует относительная погрешность 1 %).

Сопротивления измеряются на постоянном токе, в пределах  $10^{-5} \div 2 \cdot 10^4$  Ом. Измеряемое сопротивление подключается ко входным гнездам, кнопочный переключатель рода работ устанавливается в положение «кΩ». Измерения постоянного и переменного тока выполняются с помощью выносного шунта, который подключается ко входным клеммам, выносной шунт имеет пределы измеряемой силы тока: 0,2 мА, 2 мА, 20 мА, 0,2 А и 2 А. Для предохранения шунта от повреждения, измерение тока следует начинать с предела 2 А и постепенно снижать предел, получая требуемую точность значений на цифровом индикаторе.

При работе с вольтметром его корпус должен быть заземлён.

## ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ Г6 – 26

Генератор предназначен для регулировки и испытаний электронной аппаратуры в диапазоне низких и инфранизких частот и является источником периодических колебаний. Сигнал на выходе генератора может быть получен в синусоидальной или прямоугольной форме или в виде синхроимпульсов. Внешний вид генератора показан на рис. 4.2.



Рис. 4.2. Внешний вид генератора Г6 – 26

Диапазон генерируемых частот  $0,001 \div 10000$  Гц разбит на 7 поддиапазонов, определяемых множителями: 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10, 100; 1000. Плавная регулировка частоты в пределах поддиапазона осуществляется при помощи ручки «ЧАСТОТА».

Сигнал генератора выведен на группу гнезд на лицевой панели. Основной выход « $\text{G}$ » реализован гнездами «0» и «180», на которые выведен основной и противофазный сигнал. Амплитудное значение напряжения основного выхода плавно регулируется ручкой «АМПЛИТУДА СИГНАЛА» в пределах  $1 \div 10$  В.

Для ступенчатой регулировки амплитуды предусмотрен декадный аттенюатор «ОСЛАБЛЕНИЕ dB» с клавишами для ослабления сигнала на 0, 20, 40 или 60 дБ.

Пример: установить на выходе генератора синусоидальное напряжение амплитудой 1,5 В и частотой 500 Гц.

Для этого переключатель диапазонов «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» устанавливается в положение «100». Лимб плавной регулировки частоты ручкой «ЧАСТОТА» вращается до совпадения деления «5» с рискушкой «Hz». Лимб «АМПЛИТУДА СИГНАЛА» вращается до совпадения деления «1,5» с рискушкой «V».

Сигнал снимается с основного выхода между гнездом «0» и любой из клемм группы «1» (общий провод генератора).

Примечание. Лимб регулировки напряжения отградуирован в амплитудных значениях ( $U_m$ ). Действующее значение выходного напряжения ( $U_{дейст}$ ) для синусоидального сигнала будет меньше амплитудного значения. Для синусоидального сигнала  $U_{дейст} \approx 0,707 U_m$ .

Для работы с основного выхода на согласованную нагрузку предусмотрена клавиша «ВЫХ. СОПР. 600  $\Omega$ ». При нажатой клавише амплитудное значение выходного напряжения не превышает 5 В.

На гнезда дополнительных выходов выведены синусоидальные напряжения со сдвигом фаз 0, 90, 180 и 270 градусов. Синхроимпульсы формируются на выходе «1», их амплитуда не менее 5 В. На выходе «2» формируется прямоугольный периодический сигнал (меандр) амплитудой 10 В. Амплитуда сигналов на дополнительных выходах не регулируется.

Генератор работает от сети переменного тока ( $220 \pm 22$ ) В, частотой ( $50 \pm 0,5$ ) Гц. Шнур питания и клемма заземления корпуса находятся на задней панели.

## ОСЦИЛЛОГРАФ С1 – 65А

Осциллограф предназначен для наблюдения и исследования электрических сигналов, измерения их амплитудных и временных параметров. Исследуемые сигналы могут быть периодическими или одиночными, в т.ч. случайными, с возможностью синхронизации. При выполнении измерений амплитуда сигнала на входе осциллографа не должна быть меньше 15 мВ и не должна быть больше 40 В. Максимальная амплитуда входного сигнала 300 В. Спектр исследуемого сигнала может находиться в полосе от 0 Гц до 10 МГц. Входное сопротивление составляет 1 МОм. Нелинейность развёртки не превышает 5 %. Размер рабочей части экрана 80x64 мм. Внешний вид осциллографа показан на рис. 4.3.





Рис. 4.3. Внешний вид осциллографа С1 – 65А

Слева от экрана расположены сверху вниз ручки регулировки экрана: яркость «☀», фокусировка «⊙» и подсветка «⚡». Ниже экрана, в поле «УСИЛИТЕЛЬ Y», расположены слева направо: клемма общего провода осциллографа «⊥», байонетный разъём «↻» для подключения коаксиальным кабелем к источнику сигнала, переключатель открытого для постоянного сигнала «⋈» и закрытого для постоянного сигнала «⋉» входа. Среднее положение «⊥» этого переключателя соответствует короткому замыканию на входе «↻» и применяется для поиска луча и установки нулевого уровня потенциометром вертикального перемещения луча «↕». Ступенчатая и плавная регулировка усилителя входного сигнала «УСИЛИТЕЛЬ Y» осуществляется с помощью переключателя «V/дел» (вольт на деление) и потенциометра «ПЛАВНО», ручки которых расположены на совмещённой оси. Потенциометр плавной регулировки фиксируется в правом положении. Значения переключателя «V/дел» откалиброваны именно в этом положении и образуют следующий ряд: 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,2; 0,1; 0,05; 0,02; 0,01, 0,005.

В поле «РАЗВЕРТКА», расположенном справа от экрана, размещаются органы управления горизонтальным движением луча (развёртка по оси X). В центре поля расположены переключатель диапазонов развёртки «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» (время на деление) с потенциометром плавной регулировки скорости развёртки «ПЛАВНО», который также имеет совмещённую с переключателем диапазонов развёртки ось и фиксируется в правом положении. Диапазон развёртки откалиброван именно в этом положении и образуют следующий ряд значений: 50; 20; 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,2; 0,1 миллисекунд на деление и микросекунд на деление.

Выше расположен переключатель, который в среднем положении «0,1» уменьшает частоту развёртки в десять раз, а в правом положении «↻ X» передаёт управление развёрткой сигналу, который может быть подан на вход «↻ X», расположенный в поле «СИНХРОНИЗАЦИЯ».




Ниже расположены потенциометры «↔» грубого и плавного перемещения луча по горизонтали и переключатель режимов развёртки: непрерывная развёртка (верхнее положение переключателя), ждущая развёртка

по синхроимпульсу (среднее положение переключателя) и запуск развёртки оператором (нижнее положение переключателя) при помощи кнопки «ГОТОВ».

Устойчивость изображения (синхронизация) достигается при помощи потенциометра «УРОВЕНЬ» и потенциометра «ВЧ» который используется при большой частоте развёртки (свыше 10 МГц). В центре поля «СИНХРОНИЗАЦИЯ» расположен переключатель следующих режимов синхронизации.

Режим «ВНУТР.» – синхронизация частоты внутреннего генератора развёртки осциллографа согласно частоте измеряемого сигнала. Этот режим удобен для измерения периодических сигналов, причём соотношение «сигнал/шум» на входе осциллографа должно быть выше допустимого порогового уровня (сильный сигнал). В противном случае синхронизация может быть выполнена не согласно сигналу, а согласно помехе и на экране осциллографа вместо сигнала будет наблюдаться помеха.

Режим «СЕТЬ» – синхронизация частоты внутреннего генератора развёртки осциллографа согласно частоте питающей электрической сети (как правило, 50 Гц). Этот режим удобен, когда источник измеряемого сигнала и осциллограф получают питание от одной и той же электрической сети. В этом режиме возможно измерение как периодических, так и непериодических сигналов.

Режим внешней синхронизации – синхронизация частоты внутреннего генератора развёртки осциллографа согласно частоте внешнего генератора. Этот режим применяется для измерения периодических сигналов, когда соотношение «сигнал/шум» на входе осциллографа ниже допустимого порогового уровня (слабый сигнал). В этом режиме могут также исследоваться непериодические сигналы. Внешние синхроимпульсы должны подаваться на расположенный рядом разъём синхровхода « X». Здесь же расположен тумблер, устанавливаемый в положение, соответствующее полярности синхроимпульсов «+» или «-» и тумблер, пропускающий «» или блокирующий «» постоянную составляющую в синхросигнале. Режим внешней синхронизации может быть включен в двух вариантах: без ослабления (положение переключателя «1:1») и с ослаблением (положение переключателя «1:10») поступающих на синхровход электрических импульсов. Вариант с ослаблением применяется для лучшей помехозащищенности, при достаточном уровне синхросигнала.

Для автономного контроля работоспособности и калибровки осциллографа, предусмотрен встроенный калибратор, на выходе которого может быть получен образцовый прямоугольный периодический сигнал (меандр) с фиксированной частотой 1 кГц или образцовый постоянный сигнал. Уровень сигнала регулируется ступенчато, с помощью расположенного в поле «КАЛИБРАТОР» многопозиционного переключателя уровня сигнала. На одной оси с переключателем уровня сигнала расположен трехпозиционный переключатель режимов калибратора. В положении «Выкл.» калибратор

отключен. В положении « $\square$  1 kHz» на выход « $\text{G}$ » калибратора поступает образцовый прямоугольный периодический сигнал (меандр) с фиксированной частотой 1 кГц. В положении « $\text{—}$ » на выход калибратора поступает образцовый постоянный сигнал.

Подготовка осциллографа к работе производится в следующей последовательности. Подключить шнур питания к сети переменного тока 220 В, 50 Гц и включить тумблер «СЕТЬ» (справа внизу на лицевой панели).

После пятиминутного прогрева при замкнутом входе и работающем генераторе развёртки (переключатель режима развёртки в верхнем положении, а регулятор развёртки в положении «1 ms»), вращая потенциометр вертикального перемещения луча « $\updownarrow$ », найти луч и установить его на нулевой уровень. Отрегулировать яркость и фокус луча (потенциометры « $\odot$ » и « $\odot$ »).

Присоединить к входному байонетному разъему « $\text{G}$ » коаксиальный кабель, переключить осциллограф на закрытый вход « $\sim$ » и определить сигнальный и общий провод входного кабеля (если взяться рукой за штекер сигнального провода, то на экране появится помеха в форме искажённой синусоиды; если взяться рукой за штекер общего провода, то на экране наблюдается горизонтальная линия).

Подключить коаксиальный кабель к источнику сигнала, отрегулировать усиление и скорость развёртки и наблюдать исследуемый сигнал.

#### ЧАСТОТОМЕР ЭЛЕКТРОННО-СЧЁТНЫЙ ЧЗ – 34

Частотомер предназначен для измерения частоты электрических колебаний в диапазоне от 10 Гц до 120 МГц, периода электрических колебаний в диапазоне от 10 мкс до 100 с, интервалов времени от 0,1 мкс до 100 с, длительности импульсов в интервале от 0,1 мкс до 100 с и отношения частот в пределах от 1:1 до  $(10^9 - 1):1$ .

С целью уменьшения погрешности измерений, кварцевый генератор частотомера термостабилизирован. Для подготовки частотомера к работе, шнур питания присоединить к электрической сети и включить тумблер «СЕТЬ». Одновременно следует включить и соседний тумблер термостата кварцевого генератора. Внешний вид частотомера показан на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Внешний вид частотомера ЧЗ – 34

Индикаторное поле частотомера содержит девять разрядов. Ниже расположены переключатели: «РОД РАБОТЫ», «ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ» и «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» и входы «А» и «Б» для измерения частоты. Справа размещается поле «БЛОК ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ» с аттенюаторами и входами «В» и «Г» для измерения периодов и интервалов времени.

Для проверки работоспособности прибора следует выбрать режим «ЧАСТОТА АБ / КОНТРОЛЬ». Тумблер выбора режима запуска процесса измерений, расположенный рядом с кнопкой «ПУСК», установить в положение «↻» (автоматический режим).

Произвести несколько отсчётов для различных положений переключателя «МЕТКИ ВРЕМЕНИ». Если при этом менять положение переключателя «ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ», то при правильном функционировании прибора будут меняться значения цифрового индикатора.

Измерение частоты выполняется в следующей последовательности. Справа от переключателя «РОД РАБОТЫ» расположены два поля с измерительными входами «↻» «А» и «Б». Для измерения частоты исследуемого сигнала можно воспользоваться любым из этих входов, однако измерения по входу «А» обладают более широкими возможностями по регулировке процесса измерений с учетом вида и амплитуды измеряемого сигнала.

Амплитуда измеряемого сигнала не должна превышать 100 В. При достаточном уровне сигнала, подаваемого на вход «А», он может быть ослаблен с помощью аттенюатора в одной из следующих пропорций: 1:1, 1:10 или 1:100. Соответственно ослабится и уровень помехи, что сделает результат измерения более точным. Вход «Б» предназначен для измерения частоты синусоидального сигнала, при этом действующее напряжение не должно превышать 3 В.

При измерениях частоты переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» следует установить в положение, соответствующее выбранному измерительному входу, «А» или «Б». Выбрать подходящее время измерения, например, установив переключатель «ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «1s», установить потенциометр «ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ» в положение, удобное для отсчёта цифровых значений и выполнить отсчёт частоты измеряемого сигнала согласно значениям на индикаторном поле.

Измерение периода и длительности импульса выполняется в следующей последовательности. Сигнал подается на вход «В» в поле «БЛОК ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ». При необходимости, сигнал может быть ослаблен при помощи соответствующего аттенюатора. Переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» устанавливается в положение «10 ns».

При измерении периода переключатель «РОД РАБОТЫ» устанавливается в положение «Т<sub>В</sub>», а тумблер «РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕСТНО» в положение «РАЗДЕЛЬНО».

При измерении длительности импульсов переключатель «РОД РАБОТЫ» устанавливается в положение «t<sub>В-Г</sub>», а тумблер «РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕСТНО» в положение «СОВМЕСТНО». Задавая с помощью аттенюатора ослабление, добиваются устойчивых значений на цифровом индикаторе.



Измерение интервалов времени производится аналогично измерению длительности импульса. Поскольку требуется измерять интервал между импульсами, получаемыми по разным каналам, необходимо задействовать два входа. Используются входы «В» и «Г».

Измерение отношения частот сигналов выполняется в следующей последовательности. Сигнал более высокой частоты подают на вход А или Б, а второй сигнал – на вход В. Переключатель «РОД РАБОТЫ» устанавливается в положение «F<sub>АБ</sub> / F<sub>В</sub>». Дальнейшие действия те же, что и при измерении частоты. Частотомер может быть использован в системах автоматических измерений. Для этих целей предусмотрен внешний порт, производящий обмен в двоично-десятичном параллельном коде.

#### 4.3 ВЫПОЛНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Задание 1. Ознакомиться с кратким описанием, техническими параметрами и органами управления измерительных приборов.

Задание 2. Исследовать регулировку выходного напряжения генератора Г6 – 26 с помощью цифрового вольтметра В7 – 38 и произвести градуировку выходного аттенюатора «АМПЛИТУДА СИГНАЛА».

Для этого включить измерительные приборы в сеть, собрать схему рис. 4.5, присоединив измерительными проводами основной выход «» генератора Г6 – 26 к измерительному входу «» вольтметра В7 – 38. Установить на генераторе частоту 1 кГц и ослабление 0 дБ, переключить вольтметр на режим измерения переменных напряжений, кнопка «V~».

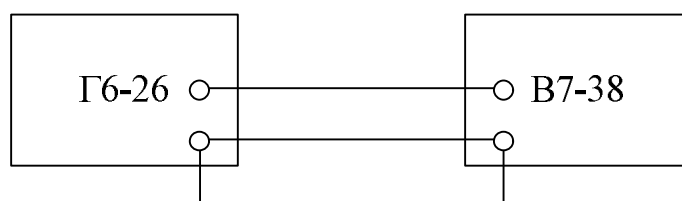


Рис. 4.5. Схема соединений для исследования сигналов вольтметром

Меняя амплитуду сигнала генератора, определить закономерность связи значений, наблюдаемых на вольтметре и значений, устанавливаемых на генераторе. Записать полученные данные во вторую строку таблицы 4.1.

**Таблица 4.1**

Г6 – 26	$A$ , дел.	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8
В7 – 38	$U$ , В					
С1 – 65А	$U_m$ , В					
С1 – 65А	$U_{дейст}$ , В					

Объяснить отличие значений и построить градуировочный график.

Задание 3. Исследовать форму, амплитудные и временные параметры выходного напряжения генератора сигналов Г6 – 26 с помощью осциллографа С1 – 65А. Подготовить осциллограф к работе. Для этого подключить шнур питания к электрической сети и включить осциллограф. После появления луча отрегулировать яркость и фокус, установить нулевой уровень в центре экрана. Собрать схему рис. 4.6, соединив коаксиальным кабелем основной выход генератора сигналов и вход осциллографа.

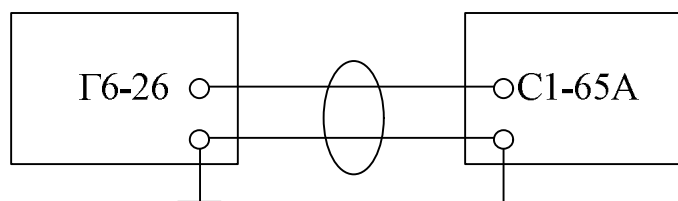


Рис. 4.6. Схема соединений для исследования сигналов осциллографом

Измерение параметров гармонического сигнала. На генераторе установить амплитуду сигнала 0,7 В. На осциллографе переключатель усилителя сигнала установить в положение 10 «В/дел», потенциометр «ПЛАВНО» установить в фиксированное правое положение. Меняя положение переключателя, получить удобный для наблюдения масштаб изображения. Включить режим внутренней синхронизации и переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» выбрать удобную скорость развёртки (на экране наблюдается от одного до трёх периодов сигнала). Если осциллограмма «бежит» или имеет неустойчивый вид, отрегулировать синхронизацию развёртки, используя потенциометр «УРОВЕНЬ».

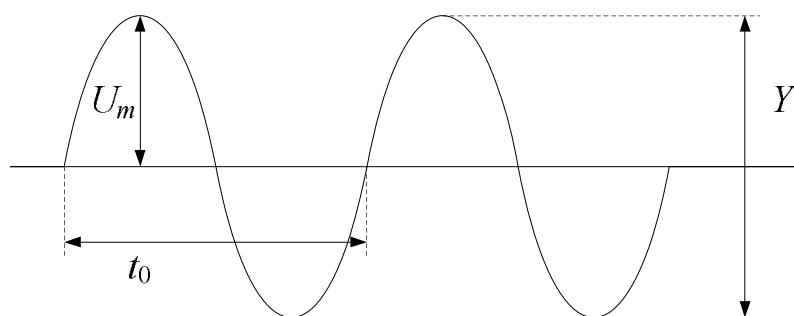


Рис. 4.7. Измерение параметров гармонического сигнала

Измерить согласно рис. 4.7 амплитуду наблюдаемого на экране сигнала,  $U_m$ .

$$U_m = (Y \cdot K_Y) / 2,$$

где  $Y$  – размах (удвоенная амплитуда гармонического колебания), в делениях;  $K_Y$  – значение, на которое установлен переключатель усилителя входного сигнала «УСИЛИТЕЛЬ  $Y$ », вольт на деление. Повторить измерения для всех оставшихся значений табл. 4.1 (1,0; 1,4; 2,0; 2,8) В. Заполнить третью строку табл. 4.1.

Измерить период сигнала генератора,  $T$ .

$$T = K_T \cdot t_0,$$

где  $K_T$  – скорость развёртки, установленная переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ.», время на деление;  $t_0$  – период сигнала, в делениях на экране.

Вычислить частоту сигнала,  $f$ .

$$f = 1/T.$$

Сравнить найденные в процессе измерения осциллографом значения амплитуды  $U_m$  и частоты  $f$  со значениями, установленными на генераторе.

Вычислить действующее (среднеквадратическое) значение сигнала для всех значений из третьей строки таблицы 4.1. Для синусоидального сигнала  $U_{\text{дейст}} \approx 0,707 U_m$ . Заполнить четвёртую строку табл. 4.1.

Измерить параметры импульсного сигнала, приняв за последовательность импульсов периодический прямоугольный сигнал на выходе генератора Г6 – 26 (рис. 4.8). Собрать схему рис. 4.6, соединив коаксиальным кабелем выход «□□» генератора сигналов и вход осциллографа.

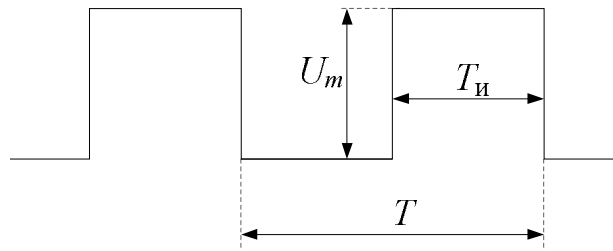


Рис. 4.8. Измерение параметров импульсного сигнала

Выполнить измерение амплитуды  $U_m$ , длительности импульса  $T_{и}$  и периода  $T$  для импульсного сигнала. Вращая на генераторе ручку «АМПЛИТУДА СИГНАЛА», убедиться, что выход « $\square$ » нерегулируемый.

Задание 4. Исследовать работу осциллографа в режиме внутренней и внешней синхронизации.

Режим внутренней синхронизации. Собрать схему рис. 4.6, соединив коаксиальным кабелем основной выход генератора сигналов и вход осциллографа. На генераторе установить амплитуду сигнала 1,5 В. На осциллографе установить режим внутренней синхронизации. Вращая ручку «УРОВЕНЬ», получить устойчивое изображение (выполняется синхронизация внутреннего генератора развёртки осциллографа согласно частоте измеряемого сигнала). Уменьшая с помощью кнопок «ОСЛАБЛЕНИЕ dB» амплитуду сигнала, убедиться, что синхронизация срывается (изображение на экране осциллографа «побежало»).

Режим внешней синхронизации. Собрать схему рис. 4.6, соединив коаксиальным кабелем основной выход генератора сигналов и вход осциллографа. Вторым коаксиальным кабелем соединить выход синхроимпульсов « $\Lambda$ » генератора и синхровход « $\odot$  X» осциллографа. На генераторе установить амплитуду сигнала 1,5 В. На осциллографе установить режим внешней синхронизации. Убедиться, что изображение сигнала стало устойчивым. Уменьшая с помощью кнопок «ОСЛАБЛЕНИЕ dB» амплитуду сигнала, убедиться, что синхронизация не срывается ни при каких амплитудах.

Задание 5. Исследовать амплитудные и временные параметры внутреннего калибратора осциллографа С1 – 65А. Измерить при помощи осциллографа и проконтролировать по вольтметру В7 – 38 уровни образцовых постоянных сигналов. Для этого соединить вход осциллографа с выходом калибратора (штекер общего провода коаксиального кабеля может оставаться неприсоединённым). Переключатель режимов калибратора установить в положение «—». Переключая уровни сигнала калибратора, убедиться, что уровень постоянного сигнала на экране меняется. Выполнить измерения постоянного сигнала на экране осциллографа, результаты занести в табл. 4.2.



Выполнить измерения постоянного сигнала вольтметром В7 – 38, результаты занести в табл. 4.2.

**Таблица 4.2**

Калибратор, мВ	20	100	500
Постоянный сигнал			
Экран С1 – 65А			
Вольтметр В7 – 38			
Прямоугольный периодический сигнал			
Экран С1 – 65А			
Вольтметр В7 – 38			

Переключатель режимов калибратора установить в положение « $\square$  1 kHz». Измерить при помощи осциллографа и проконтролировать по вольтметру В7 – 38 уровни прямоугольного периодического сигнала калибратора, результаты занести в табл. 4.2. Принимая значения, полученные на вольтметре, за эталонные, сделать вывод о точности уровня постоянных и периодических сигналов калибратора. Измерить осциллографом период прямоугольного сигнала. С какой целью применяются для калибровки постоянные сигналы? Могут ли вместо них применяться периодические сигналы?

Задание 6. Прецизионные измерения электронно-счётным частотомером ЧЗ – 34.

Измерить частоту сигнала генератора Г6 – 26 в режиме гармонических колебаний. Установить на генераторе частоту 1 кГц. Установить частотомер в режим измерения частоты: переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «ЧАСТОТА АБ / КОНТРОЛЬ», переключатель «ВРЕМЯ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «1s», переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» в положение « $\odot$  А», аттенуатор канала «А» в положение 1:100, тумблер вида сигнала в положение « $\sim$ ». Соединить коаксиальным кабелем основной выход генератора сигналов и вход «А» частотомера. Установить потенциометр «ВРЕМЯ ИНДИКАЦИИ» в положение, удобное для отсчёта цифровых значений и выполнить отсчёт частоты измеряемого сигнала согласно значениям на индикаторном поле. Сравнить полученные значения и значения, установленные на генераторе. Принимая значения, полученные на частотомере, за эталонные, определить абсолютную погрешность установки частоты на генераторе,  $\Delta f$ .

$$\Delta f = |f_{\Gamma} - f_{\text{ч}}|,$$

где  $f_{\Gamma}$  – отсчёт по лимбу генератора,  $f_{\text{ч}}$  – отсчёт по индикаторам частотомера.

Определить относительную погрешность,  $\delta f$ .

$$\delta f = \Delta f / f_{\Gamma}.$$

Измерить период сигнала генератора Г6 – 26 в режиме прямоугольных периодических колебаний. Установить на генераторе частоту 1 кГц. Установить частотомер в режим измерения периода: переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «Т<sub>В</sub>», тумблер «РАЗДЕЛЬНО-СОВМЕСТНО» в положение «РАЗДЕЛЬНО», переключатель «МЕТКИ ВРЕМЕНИ» в положение «10 ns», переключатель «МНОЖИТЕЛЬ ПЕРИОДА» в положение «1», аттенуатор канала «В» в положение 1:100.

Соединить коаксиальным кабелем выход «□□» генератора сигналов и вход «В» частотомера. Установить потенциометр «УРОВЕНЬ» входа «В» в крайнее левое положение. Меняя положение аттенуатора, добиться устойчивых значений на цифровом индикаторе. Записать найденное в процессе измерения значение периода. Вычислить частоту сигнала,

$$f = 1/T.$$

Сравнить полученные значения и значения, установленные на генераторе. Принимая значения, полученные на частотомере, за эталонные, определить абсолютную и относительную погрешности установки частоты на генераторе.

#### 4.4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Титульный лист: название работы, фамилии студентов, номер группы, дата начала работы. Следующая страница: краткие технические характеристики изучаемых приборов, схемы измерительных соединений. Следующая страница: результаты измерений. Следующая страница: выводы согласно полученным результатам.

#### 4.5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Генератор сигналов Г6 – 26.

1. Каков диапазон частот и амплитуд сигнала генератора?
2. Как управлять амплитудой сигнала генератора?
3. Как управлять частотой сигнала генератора?
4. Какие сигналы могут быть получены на выходе генератора?

Вольтметр В7 – 38.

1. Измерение каких физических величин можно выполнить с помощью вольтметра?
2. Как измерять постоянные и переменные напряжения с помощью вольтметра?
3. Каков диапазон измерений?
4. Возможно ли измерять силу тока, сопротивление?

Осциллограф С1 – 65А.

1. Измерение каких физических величин можно выполнить с помощью осциллографа?
2. С какой целью применяется внутренняя и внешняя синхронизация?
3. Каково назначение калибратора?
4. С какой целью применяются для калибровки постоянные сигналы?
5. Могут ли вместо постоянных применяться периодические сигналы?
6. Почему необходимо отключать калибратор?

Частотомер ЧЗ – 34.

1. Измерение каких физических величин можно выполнить с помощью частотомера?
2. Каково назначение термостата генератора частотомера?
3. Почему возникает необходимость измерения и частоты и периода, если эти физические величины связаны простой зависимостью?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Муртазин, Ш. Р.** Измерение параметров электрического сигнала [Текст] : лабораторная работа / Ш. Р. Муртазин. — Казань : Изд-во «Экоцентр», 2005. — 24 с.
2. **Авдеев, Б. Я.** Основы метрологии и электрические измерения [Текст] : учебник для вузов / Б. Я. Авдеев, Е. М. Антонюк, Е. М. Душин [и др.] ; под. общ. ред. Е. М. Душина. — Изд. 6-е, перераб. и доп. — Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. — 480 с.

*Автор*  
*Николаев Михаил Иванович*

Практикум по метрологии, стандартизации и сертификации  
в приборостроении

*Учебное пособие*

---

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ.л. 4,1. Усл.печ.л. 0,93. Усл.кр.-отт. 0,9 Уч.-изд.л. 4,3.  
Тираж \_\_\_\_\_. Заказ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ .

---

Типография Издательства Казанского государственного технического университета  
420111 Казань, К.Маркса, 10