

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Васильевна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 22.03.2023 05:21:45

Уникальный программный идентификатор

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«НОРИЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ»**

**Политехнический колледж**

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

**Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения для специальности**

**15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)**

Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения по дисциплине «Электротехнические измерения» для специальности 15.02.07 Автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям)

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Разработчик: Колупаева Е.А. – преподаватель.

Рассмотрены на заседании цикловой комиссии: Автоматизация технологических процессов.

Председатель комиссии: Колупаева Е.А.

Утверждены методическим советом политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Протокол заседания методического совета № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зам. директора по УР \_\_\_\_\_ С.П. Блинова

## Введение

Вся практическая деятельность человека тесно связана с измерениями. Не существует такой отрасли народного хозяйства и области точных наук, где бы не проводились измерения.

Исследования космоса и микромира, производство электрической энергии и проведение сложнейшей хирургической операции невозможны без использования количественной информации о свойствах объектов материального мира, т. е. о значении физических величин: механических, тепловых, электрических и др.

Эту информацию получают в результате измерений с помощью специальных технических средств, называемых средствами измерений.

С развитием техники развивались и средства измерений. Появилась отрасль техники, связанная с производством и применением средств измерений, называемая измерительной техникой. Среди различных средств измерений особое место занимают средства измерений электрических величин. Они возникли в результате развития учения об электричестве и магнетизме.

Благодаря ряду достоинств средства электроизмерительной техники (ЭИТ) получили широкое распространение. К их основным преимуществам относятся:

- универсальность, которая состоит в возможности их применения для измерения не только электрических величин, но и неэлектрических, предварительно преобразованных в электрические с помощью различного типа измерительных преобразователей;

- дистанционность, заключающаяся в возможности проводить измерения даже тогда, когда объект измерения значительно удален от места размещения средств измерений; информация от объекта при этом передается с помощью электрических сигналов по проводам или в виде электромагнитных излучений;

- простота автоматизации измерительных процессов;

- возможность измерения быстро изменяющихся величин;

- возможность обеспечения высокой чувствительности и необходимой точности средств ЭИТ и др.

Метрология как учение об измерениях в значительной степени определяет темпы технического прогресса, причем роль ее постоянно возрастает с увеличением объема и значимости измерительной информации. Огромный объем информации, получаемой в результате измерений, будет полезным только при обеспечении единства и правильности выполнения измерений независимо от места, времени и условий их проведения. Для получения достоверной и точной информации, сопоставления результатов измерений необходима современная эталонная база, воспроизводящая единицу физической

величины с большой точностью.

Одна из основных задач метрологии - обеспечение необходимой точности и достоверности измерительной информации. В народном хозяйстве применяют лишь те средства измерений, которые гарантируют их результат. Результаты измерений - знания о состоянии объекта и свойствах явлений. Чем точнее эти знания, тем правильнее вывод и принимаемые решения, тем меньше вероятность ошибок и появления дефектов.

Оценка погрешности измерения в современных условиях - задача комплексная и сложная. Некорректная оценка погрешности измерений чревата большими экономическими потерями, а иногда и техническими последствиями, неправильными выводами при научных исследованиях и испытаниях образцов новой техники.

Дальнейшие работы по метрологии предусмотрены в области электронизации средств измерений, комплексной автоматизации, ускоренного развития атомной энергетики, создания новых материалов и технологии их производства, биотехнологии, гибких программно-переналаживаемых измерительных систем для решения различных измерительных задач с широким применением вычислительной техники.

Электронизация средств измерений идет в направлении создания средств сбора данных и управления, характеризующихся высокой способностью к унификации, наличием не только измерительных, но и управляющих каналов воздействия на объект исследования, а также интегральных первичных преобразователей - специальных микросхем, предназначенных для преобразования неэлектрических величин в электрический сигнал. Первичные преобразователи совместно со схемами сбора данных и управления образуют замкнутую гибкую измерительно-управляющую систему. Особенность гибких измерительных систем — их способность к объединению в агрегатные комплексы. Средства измерения, входящие в единый измерительный комплекс, должны обладать способностью работать в линии с ЭВМ, «общаться» между собой, переналаживаться по команде на новые функции, организовываться в системы с более мощным интеллектом. Такие возможности обеспечиваются с помощью устройств сопряжения - интерфейсов. Персональные компьютеры, дополненные аналого-цифровым интерфейсом, позволяют превращать компьютеры в мощные средства измерений с десятками измерительных функций при соответствующем программном обеспечении.

Развитие электрических средств измерения будет продолжаться по пути улучшения характеристик и расширения их функциональных возможностей; создания измерительно-вычислительных средств на основе микропроцессоров и ЭВМ; совершенствования эталонной базы с переходом на «естественные» эталоны (основанные на законах природы); автоматизации поверочного дела; развития общей теории измерений и т.д.

Учебная дисциплина «Электротехнические измерения» является общепрофессиональной и формирует базовые знания, необходимые для освоения специальных дисциплин.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:

- пользоваться контрольно-испытательной и измерительной аппаратурой;
- составлять измерительные цепи;
- подбирать по справочным материалам измерительные средства и измерять с заданной точностью физические величины.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- основные понятия об измерениях;
- основные методы и приборы электротехнических измерений.

Учебная дисциплина включает контрольную работу, три лабораторно-практических работы и экзамен. К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие контрольную работу и лабораторно-практические работы в срок.

Контрольная работа оформляется по установленному образцу. Номер варианта контрольной работы соответствует порядковому номеру студента в списке группы.

## Тематический план учебной дисциплины

| Наименование разделов и тем   |
|---|
| <b>Введение</b>   |
| <b>Раздел 1 Государственная система обеспечения единства измерений</b>                            |
| Тема 1.1 Метрологические показатели средств измерений   |
| Тема 1.2 Классификация измерительных приборов   |
| Тема 1.3 Основные метрологические характеристики средств измерений                                |
| <b>Раздел 2 Измерение тока, напряжения и мощности</b>   |
| Тема 2.1 Аналоговые электромеханические приборы   |
| Тема 2.2 Амперметры и вольтметры. Включение их в цепь. Многопредельные измерительные приборы      |
| Тема 2.3 Электронные вольтметры. Классификация. Схемы   |
| Тема 2.4 Цифровые вольтметры. Классификация. Схемы  |
| Тема 2.5 Измерение мощности в цепях постоянного тока и тока промышленной частоты                  |
| <b>Раздел 3 Измерение параметров и характеристик электро-радиотехнических цепей и компонентов</b> |
| Тема 3.1 Измерение параметров компонентов с сосредоточенными постоянными                          |
| Тема 3.2 Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем                 |
| <b>Раздел 4 Приборы формирования стандартных измерительных сигналов</b>                           |
| Тема 4.1 Генераторы измерительные   |

**Раздел 5 Исследование формы сигналов**

Тема 5.1 Универсальные осциллографы

Тема 5.2 Способы отсчета напряжения и временных интервалов электрических сигналов

Тема 5.3 Двухканальные и двухлучевые осциллографы

**Раздел 6 Измерение параметров сигналов****Раздел 7 Автоматизация измерений**

Тема 7.1 Влияние измерительных приборов на точность измерений

Тема 7.2 Автоматизация измерений

## Содержание учебной дисциплины

### Введение

Студент должен:

*иметь представление:*

- о роли и месте знаний по дисциплине в процессе освоения профессиональной деятельности техника;
- о требованиях к измерениям;
- о перспективах развития измерительной техники.

Роль и место измерений в процессе автоматизации технологических процессов и производств. Требования к измерениям. Перспективы развития измерительной техники.

Литература [1. с 11-13; 2. с 6-13].

### Раздел 1 Государственная система обеспечения единства измерений

#### Тема 1.1 Метрологические показатели средств измерений

Студент должен:

*иметь представление:*

- о причинах возникновения погрешностей;

*знать:*

- понятия: поверка, калибровка, эталонное и рабочее средство измерения, поправка;

*уметь:*

- записывать результаты измерений.

Виды погрешностей и основные причины их возникновения.

Погрешности измерительного прибора. Погрешности измерений. Систематические погрешности, их обнаружение и исключение. Суммирование систематических погрешностей.

Случайные погрешности. Оценки случайных погрешностей. Прямые однократные измерения с точным оцениванием погрешности. Прямые однократные измерения с приближенным оцениванием погрешности. Косвенные измерения.

Класс точности прибора. Общие сведения об обработке результатов измерений.

Литература [1. с 14-31; 2. с 14-31].

### Вопросы для самопроверки

- 1 Дайте определение измерения.
- 2 По каким признакам классифицируются измерения?



- 3 Назовите и охарактеризуйте основные виды средств измерений.
- 4 Оказывает ли влияние выбор места установки датчика на точность измерения?
- 5 Что такое погрешность измерения? Какие виды погрешностей Вы знаете?
- 6 Что такое методическая погрешность измерения?
- 7 Дайте определение абсолютной и относительной погрешности измерения.
- 8 Что такое статическая погрешность измерения? Динамическая?
- 9 В каких случаях возникает дополнительная погрешность измерения?
- 10 Дайте определение приведенной погрешности измерения.
- 11 Что такое поправка к показаниям прибора?
- 12 Дайте определения случайной и систематической погрешностей.
- 13 Как проявляется на результате измерений случайная погрешность?
- 14 Как оценивается случайная погрешность измерения?
- 15 Как рассчитывается среднеарифметическое, среднеквадратическое отклонение измеряемой величины?
- 16 Что называется доверительной вероятностью и доверительным интервалом?
- 17 Как обрабатываются результаты многократных наблюдений при числе измерений  $n > 30$ ? При  $n < 30$ ?

## Практическая работа 1

### Оценивание погрешностей многократных измерений

**Цели работы:** освоить приемы статистической обработки результатов наблюдений с целью определения наиболее вероятного значения измеряемой величины и его доверительного интервала; научиться записывать результат измерения.

#### Краткие теоретические сведения

При проведении лабораторных измерений систематические погрешности по возможности исключают. Если систематическую погрешность можно оценить количественно (вычислить ее значение, а не пределы, в которых она может находиться), то в результаты измерений вводят соответствующие поправки. В показания средств измерений тоже вводят поправки, если они указаны в их паспортах. После исключения систематических погрешностей теоретически оценивают пределы возможных значений не исключенного остатка систематической

погрешности. Именно этот остаток принимают за систематическую погрешность лабораторных измерений.

Случайные погрешности выявляются, и их характеристики оцениваются непосредственно в процессе проведения эксперимента (лабораторных измерений). Наличие случайных погрешностей проявляется в том, что результаты повторных измерений одной и той же величины в одних и тех же условиях не совпадают точно. Если случайная составляющая погрешности имеет место, то для выявления ее свойств и возможного снижения ее влияния на результат измерений применяют математическую обработку достаточно большого числа результатов повторных измерений (их называют наблюдениями) измеряемой величины.

В дальнейшем будем считать, что из результатов наблюдений полностью исключена систематическая погрешность  $\Delta c$  (равна нулю).

Тогда результат  $i$ -го наблюдения находится только с некоторой случайной погрешностью  $\Delta i$ , т.е.

$$X_i = X_0 \pm \Delta i \quad (1.1)$$

По полученным результатам наблюдений и их разбросу можно оценить истинное значение измеряемой величины и интервал, в котором находится истинное значение, с заданной вероятностью.

Простейшая процедура математической обработки наблюдений основана на предположении, что случайная погрешность измерения подчинена нормальному закону распределения. Проводятся многократные наблюдения величины  $X$ , результаты которых  $X_i$  ( $i$  – порядковый номер наблюдения), приведены в таблице 1.1 в столбце «Результаты наблюдений». Из приведенных данных видно, что результаты наблюдений не повторяются точно, следовательно в измерениях имеется случайная погрешность, и они подлежат описанной ниже процедуре математической обработки.

При нормальном законе распределения плотности вероятностей погрешностей  $\Delta i$  за истинное значение измеряемой величины принимают оценку математического ожидания в виде среднего арифметического значения, т.е.  $X_0 = \bar{X}$ . Тогда выражение (1.1) запишется в виде

$$X_i = \bar{X} \pm \Delta i \quad (1.2)$$

Среднее арифметическое находят по формуле:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1.3)$$

Таблица 1.1- Результаты наблюдений

| № наблюдения,<br>$i$ | Результат<br>наблюдения, $X_i$ | Случайная<br>погрешность<br>наблюдения, $\Delta i$ | Квадрат<br>случайной<br>погрешности,<br>$(\Delta i)^2$ |
|----------------------|--------------------------------|--|--|
| 1                    | 2                              | 3  | 4  |
| 1                    | 100,10                         | 0,10   | 0,0100   |
| 2                    | 100,30                         | 0,30   | 0,0900   |
| 3                    | 99,80                          | -0,20  | 0,0400   |
| 4                    | 100,00                         | 0,00   | 0,0000   |
| 5                    | 100,15                         | 0,15   | 0,0223   |
| 6                    | 99,77                          | -0,23  | 0,0529   |
| 7                    | 99,97                          | -0,03  | 0,0009   |
| 8                    | 100,05                         | 0,05   | 0,0025   |
| 9                    | 99,93                          | -0,07  | 0,0049   |
| 10                   | 100,00                         | 0,00   | 0,0000   |
| 11                   | 100,80                         | 0,80   | 0,6400   |
| 12                   | 99,50                          | -0,50  | 0,2500   |
| 13                   | 99,80                          | -0,20  | 0,0400   |
| 14                   | 100,08                         | 0,08   | 0,0064   |
| 15                   | 100,03                         | 0,03   | 0,0009   |
| 16                   | 99,70                          | -0,30  | 0,0900   |
| Проверка:            | Среднее<br>$\bar{X} = 100,00$  | Контрольная<br>сумма $Z_c = -0,02$                 | СКО, $\sigma=0,29$                                     |

В столбце «Случайная погрешность наблюдения» подсчитывают значение случайной погрешности наблюдения как разность между результатом измерения  $\bar{X}$  и результатом наблюдения

$$\Delta i = X_i - \bar{X} \quad (1.4)$$

Для проверки правильности выполнения расчетов внизу столбца подсчитывают контрольную сумму  $Z_c$  полученных отклонений от среднего:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \Delta i \quad (1.5)$$

Если расчеты не содержат ошибок, эта сумма должна быть равна нулю, или отличаться от нуля не более чем на 2...3 единицы младшего разряда чисел в столбце.

В столбце «Квадрат случайной погрешности» подсчитывают квадрат случайной погрешности и среднее квадратическое отклонение случайной погрешности (СКО):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta i)^2}{n-1}} \quad (1.6)$$

Сравнивают каждое значение  $\Delta i$  с утроенным значением  $\sigma$ . Если ни одно значение случайной погрешности не превышает  $3\sigma$ , то измерения не содержат грубых ошибок и за результат измерений можно принять рассчитанное по формуле (1.3) значение  $\bar{X}$ .

В приведенном примере  $3\sigma = 3 \cdot 0,29 = 0,87$ .

Все значения случайной погрешности меньше  $3\sigma$ , следовательно, грубых ошибок в измерениях нет, за истинное значение измеряемой величины принимается  $\bar{X} = 100,00$ .

Если имеется одно или более отклонений от среднего, превышающих  $3\sigma$ , соответствующие наблюдения считают промахами и исключают их из дальнейшего рассмотрения. Весь расчет повторяют.

Теоретически за результат измерений следовало бы принять математическое ожидание, т.е. среднее значение бесконечно большого числа наблюдений ( $n \rightarrow \infty$ ). Практически число наблюдений всегда ограничено (в примере  $n = 16$ ). Это приводит к тому, что полученное значение среднего арифметического  $\bar{X} = 100,00$  может отличаться от математического ожидания, принимаемого за истинное значение измеряемой величины. Чтобы оценить это отличие, рассчитывают границы интервала, расположенного вокруг  $\bar{X}$ , в котором находится истинное значение измеряемой величины с заданной вероятностью  $P$ . Для этого рассчитывают СКО среднего арифметического, которое называют среднее квадратическое отклонение результата измерения:

$$\sigma_{CP} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta i)^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.7)$$

В рассматриваемом примере:  $\sigma_{CP} = \frac{0,29}{\sqrt{16}} = 0,07$

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений при заданной вероятности  $P$  определяют по формуле:

$$\Delta = \pm t \cdot \sigma_{CP} \quad (1.8)$$

где  $t$  – коэффициент, зависящий от  $P$  и формы закона распределения.

При нормальном законе распределения случайной погрешности и небольшом числе наблюдений – закон распределения Стьюдента.

Границы интервала, в котором находится истинное значение измеряемой величины с вероятностью  $P$ , записывают в форме:

$$\bar{X} - \Delta \leq X \leq \bar{X} + \Delta \quad (1.9)$$

Или в форме:

$$\bar{X} \pm \Delta, \quad P \quad (1.10)$$

На практике принято оценивать значение измеряемой величины с

доверительной вероятностью  $P=0,95$ .

В рассматриваемом примере плотность распределения вероятностей случайной погрешности соответствует распределению Стьюдента и коэффициент  $t$  выбираем из приложения А для  $P=0,95$  и  $n=16$ . Коэффициент  $t=2,13$ .  $\Delta = \pm 2,13 \cdot 0,07 = \pm 0,15$

Интервал, в котором лежит истинное значение измеряемой величины  $X$  с вероятностью  $0,95$  определяется неравенством:

$$100,00 - 0,15 \leq X \leq 100,00 + 0,15$$

т.е.

$$99,85 \leq X \leq 100,15$$

или

$$X = (100,00 \pm 0,15), \quad P = 0,95$$

Следует помнить, что приведенным способом можно выявить и оценить только случайные погрешности результата измерений.

Выявить систематические погрешности, искажающие значение  $\bar{X}$ , описанным способом невозможно.

### **Порядок выполнения работы**

1 Заполните в таблице «Математическая обработка...» столбец значений  $X_i$  из рассмотренного примера, изменив три значения на величину не более рассчитанного значения  $\sigma$ .

2 Проведите математическую обработку результатов наблюдений, данные занесите в таблицу аналогичную таблице 1.1.

3 Включите в отчет подробное описание проведенной математической обработки.

4 В качестве вывода по работе запишите результат измерения и интервал значений измеряемой величины с вероятностью  $P=0,95$ .

5 Оформите отчет и подготовьте к защите ответы на вопросы для самопроверки.

### **Вопросы для самопроверки к практической работе 1**

1 В каких случаях выполняют математическую обработку результатов наблюдений?

2 Как записывается результат измерений?

3 По какому признаку можно судить о наличии случайных погрешностей?

4 Приведите пример графического и аналитического представления дифференциального закона случайной погрешности.

5 Какими параметрами характеризуется случайная величина?

6 По каким формулам определяется  $m_x$ ,  $\sigma$ ,  $\sigma_{CP}$ ?

7 В чем заключается физический смысл  $m_x$ ,  $\sigma$ ,  $\sigma_{CP}$ ?

8 Во сколько раз уменьшится  $\sigma_{CP}$ , если увеличить число наблюдений в 4 раза?

9 Как изменится значение  $\bar{X}$ , если один (несколько) из результатов наблюдений изменится на величину, меньшую  $\sigma$ ?

10 Что является признаком наличия промаха в результатах наблюдений?

11 Какие погрешности не могут быть выявлены и уменьшены с помощью математической обработки?

## **Тема 1.2 Классификация измерительных приборов**

Студент должен:

*знать:*

- классификацию электро- и радиоизмерительных приборов;
- условные обозначения на шкалах приборов.

Классификация электроизмерительных приборов по принципу действия, по классу точности, по роду тока, по влиянию электромагнитных полей и окружающей среды. Цена деления чувствительность прибора.

Условные обозначения, наносимые на шкалу аналоговых электроизмерительных приборов. Классификация радиоизмерительных приборов.

Литература [3. с 14-19].

### **Вопросы для самопроверки**

- 1 Какая погрешность определяет класс точности прибора?
- 2 Какую четверть шкалы аналогового прибора следует использовать для получения наименьшей погрешности измерений?
- 3 Как определить цену деления прибора?
- 4 Какие условные обозначения наносятся на шкалы приборов?
- 5 Каким образом на шкале обозначается способ установки прибора?
- 6 Какое условное обозначение на шкале имеет магнитный экран?

## **Тема 1.3 Основные метрологические характеристики средств измерений**

Студент должен:

*знать:*

- основные метрологические характеристики средств измерений;

*уметь:*

- определять погрешность прибора по известному классу точности.

Понятие о метрологических характеристиках. Комплексы метрологических характеристик мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, измерительных каналов, измерительных систем.

Литература [3. с 28-39].

### **Вопросы для самопроверки**

- 1 Что такое класс точности средства измерения?
- 2 Перечислите основные метрологические характеристики средств измерений.
- 3 Что такое чувствительность прибора?
- 4 Чем отличается диапазон показаний от диапазона измерений?
- 5 Дайте определение быстродействия прибора.

## **Раздел 2 Измерение тока, напряжения и мощности**

### **Тема 2.1 Аналоговые электромеханические приборы**

Студент должен:

*иметь представление:*

- о физических явлениях, лежащих в основе действия измерительных приборов;

*знать:*

- условные обозначения на шкалах приборов;
- области применения, достоинства и недостатки приборов различных систем
- правила включения выпрямительных приборов в измерительную цепь;
- правила включения термоэлектрических приборов в измерительную цепь.

Структурная схема и общие элементы электромеханических приборов. Магнитоэлектрический, электромагнитный, электродинамический, индукционный измерительные механизмы. Амперметры постоянного и переменного тока. Вольтметры постоянного и переменного напряжения. Вольтметры и амперметры выпрямительной системы для измерения переменных напряжения и силы тока.

Гальванометр. Логометр. Термоэлектрический измерительный прибор.

Литература [2. с 74-94].

### **Вопросы для самопроверки**

- 1 Объясните, какие элементы содержат аналоговые измерительные

приборы? Каковы их функции и характеристики? Почему величина противодействующего момента должна зависеть от угла поворота подвижной части механизма?

2 Приведите условное обозначение основных типов измерительных механизмов.

3 Какими параметрами определяется величина отклонения подвижной части прибора магнитоэлектрической системы?

4 Поясните, почему приборы магнитоэлектрической системы обладают высокой чувствительностью и точностью? Подвержены ли эти приборы сильному влиянию внешних полей?

5 Каковы свойства приборов электродинамической системы? Почему этот тип прибора пригоден для измерения как постоянных, так и переменных токов? Перечислите области применения.

6 Объясните принцип действия приборов электромагнитной системы. Где эти приборы следует применять?

7 Каковы свойства и области применения электростатических приборов?

8 Приведите схемы однополупериодного, двухполупериодного, мостового выпрямителя.

9 Что такое, логометр? Каковы особенности конструкции логометра?

10 Объясните принцип действия прибора термоэлектрической системы. Каковы его характеристики и область применения?

## **Лабораторная работа 1**

### **Изучение устройства аналоговых электромеханических приборов**

**Цели работы:** научиться определять области применения приборов; изучить принцип действия и устройство аналоговых электромеханических приборов.

#### **Приборы и оборудование:**

1 Приборы различных типов и систем (выдаются преподавателем).

### **Краткие теоретические сведения**

При технических измерениях электрических величин широкое распространение получили приборы непосредственной оценки преобразуют энергию измеряемой величины в энергию перемещения его подвижной части, по положению которой производится отсчет значения измеряемой величины (амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики). Эти приборы являются аналоговыми электромеханическими приборами.

Согласно ГОСТ 1845-59 электроизмерительные приборы делятся по



следующим признакам:

- по роду измеряемой величины;
- по роду тока;
- по принципу действия;
- по степени точности;
- по потребляемой мощности;
- по степени защищенности от внешних полей;
- по условиям эксплуатации;
- по устойчивости к механическим воздействиям;
- по способу установки;
- по защищенности кожухами;
- по прочности изоляции;
- по габаритным размерам.

По роду тока приборы делятся на приборы постоянного тока, приборы переменного тока, приборы постоянного и переменного тока.

Работа измерительного прибора связана с потреблением электрической энергии. Большая часть энергии идет на нагревание электрической цепи прибора, меньшая – на вихревые токи и перемагничивание стали. В большинстве случаев потребляемая мощность (мощность потерь) мала с точки зрения экономии энергии, но повышение температуры отдельных частей прибора приводит к возникновению дополнительных погрешностей прибора. Поэтому всегда следует выбирать прибор с меньшей потребляемой мощностью.

По степени защищенности от внешних полей приборы делятся на I и II категории.

Внешние магнитные и электрические поля, накладываясь на собственные поля приборов, оказывая тем самым влияние на показания приборов. Это влияние усиливается с усилением внешнего поля и ослаблением собственного поля. Влияние внешних полей ослабляется применением экранов.

По условиям эксплуатации приборы делятся на группы;

Группа **A** – приборы для работы в сухих отапливаемых помещениях при температуре окружающей среды от  $+10^{\circ}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$  при влажности до 80% при  $+30^{\circ}\text{C}$ .

Группа **B** – приборы для работы в закрытых неотапливаемых помещениях при температуре окружающей среды от  $-30^{\circ}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  при влажности до 90% при  $+30^{\circ}\text{C}$ .

Группа **B** – приборы для работы в полевых и морских условиях. Группа **B1** - при температуре от  $-40^{\circ}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  и группа **B2** - при температуре от  $-50^{\circ}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  и влажности до 95% при  $+35^{\circ}\text{C}$ .

Приборы, предназначенные для работы в условиях тропического климата, имеют обозначение типа с буквой **T**.

По устойчивости к механическим воздействиям различают приборы:

- обыкновенные;

- тряскопрочные;
- вибропрочные;
- ударопрочные;
- тряскоустойчивые;
- виброустойчивые.

Тряскопрочные, вибропрочные и ударопрочные – это приборы, выполняющие свои функции после тряски, вибрации и ударных сотрясений.

Тряскоустойчивые и виброустойчивые – это приборы, способные выполнить свои функции во время тряски и вибраций.

По защищенности кожухами приборы делятся на:

- пыленепроницаемые;
- водонепроницаемые;
- герметичные.

Изоляция измерительных приборов и вспомогательных частей должна обладать достаточной электрической прочностью. Согласно ГОСТ 1845-59 изоляция должна выдерживать в течение 1 минуты указанное в таблице 1.2 напряжение переменного тока частотой 50 Гц.

Таблица 1.2 - Нормы для испытания изоляции приборов

| Номинальное напряжение прибора или номинальное напряжение сети                 | Действующее значение испытательного напряжения, кВ |   |
|--|--|---|
|  | при номинальной влажности                          | при повышенной влажности (приборы группы В) |
| До 40 В  | 0,5  | 0,5   |
| Свыше 40 до 650 В  | 2,0  | 1,5   |
| Свыше 650 до 1000 В  | 3,0  | 2,0   |
| Свыше 1 до 2 кВ  | 5,0  | 3,5   |
| Для приборов, предназначенных для включения через измерительные трансформаторы | 2 кВ   | 1,5 кВ                                      |

По габаритным размерам различают приборы:

- миниатюрные (до 50 мм);
- малогабаритные (от 50 мм до 100 мм);
- средние (от 100 мм до 200 мм);
- большие (свыше 200 мм)

## Задание

- 1 Пояснить все условные обозначения на шкале прибора;
- 2 Записать основные метрологические характеристики прибора в таблицу 1.3;

Таблица 1.3 - Метрологические характеристики прибора

| Тип прибора | Диапазон измерений, ед.изм | Цена деления | Класс точности | Предел основной допустимой погрешности | Примечания |
|-------------|----------------------------|--------------|----------------|--|------------|
|             |                            |              |                |  |            |

- 3 Начертить схему устройства измерительного механизма прибора и объяснить его принцип действия;
- 4 Оформить отчет по принятой форме.

## Вопросы для самопроверки к лабораторной работе 1

- 1 Какие условные обозначения, присутствуют на шкале прибора?
- 2 Какие приборы являются приборами непосредственной оценки?
- 3 Основные метрологические характеристики прибора.
- 4 Области применения прибора.
- 5 Достоинства и недостатки прибора.
- 6 Принцип действия прибора.
- 7 Как создается противодействующий момент в приборе?
- 8 Устройство магнитной системы прибора, достоинства и недостатки.
- 9 Назначение успокоителей и принцип их действия.
- 10 В каком виде представляет результат измерения?

## Тема 2.2 Амперметры и вольтметры. Включение их в цепь. Многопредельные измерительные приборы

Студент должен:

*знать:*

- правила включения амперметра и вольтметра в измерительную цепь;
- назначение шунтов и добавочных сопротивлений, их влияние на предел измерения;
- органы управления многопредельного прибора;

*уметь:*

- подбирать по справочным материалам амперметры и

вольтметры;

- измерять постоянные токи и напряжения с заданной точностью;
- определять погрешность измерений;
- измерять токи, напряжения, сопротивления.

Измерение постоянного тока. Включение прибора в цепь для измерения тока. Влияние прибора на цепь, где измеряется ток. Расширение пределов измерения тока в амперметрах. Шунты.

Требования к вольтметру. Влияние вольтметра на цепь, где измеряется напряжение. Добавочные резисторы. Расширение пределов измерения постоянного напряжения. Требования к многопредельным измерительным приборам. Органы управления и основные технические характеристики

Литература [1. с 73-83; 2. с 76-78].

### **Вопросы для самопроверки**

- 1 Приведите правило включения амперметра в исследуемую цепь
- 2 Каково назначение шунтов?
- 3 Как изменяется сопротивление амперметра с подключением шунта?
- 4 Как шунт подключается к амперметру?
- 5 Амперметры какой системы чаще всего используются для измерения тока?
- 6 Сколько шунтов содержит электромеханический амперметр с пятью пределами измерения?
- 7 Как вольтметр включается в цепь?
- 8 Каково назначение добавочных резисторов?
- 9 Как добавочный резистор подключается к вольтметру?
- 10 Перечислите достоинства и недостатки электромеханических вольтметров.

### **Лабораторная работа 2**

#### **Измерение тока и напряжения многопредельным прибором**

**Цели работы:** выбор диапазона измерения; приобретение практических навыков при пользовании многопредельными комбинированными приборами; измерение постоянного тока и напряжения и оформление результата измерения.

#### **Приборы и оборудование:**

- 1 Источник питания постоянного тока;
- 2 Прибор многопредельный вольтамперметр М2018;
- 3 Магазин сопротивлений.

## Краткие теоретические сведения

Многопредельные вольтамперметры (милливольтамперметры) являются приборами магнитоэлектрической системы, как правило, высокого класса точности (0,5; 0,2; 0,1).

Для расширения пределов измерения по току служат встроенные шунты, а для расширения пределов по напряжению – добавочные резисторы. Устанавливая переключатель пределов измерения и переключатель кратности в различные положения, выбирают необходимые пределы измерения прибора. Шкалы таких приборов выполняются в делениях, а цена деления для каждого предела измерения определяется выражением:

$$C = \frac{x_K}{\alpha} \quad (2.1)$$

где  $x_K$  – предел измерения в единицах измеряемой величины;  
 $\alpha$  – количество делений шкалы.

Измеряемая величина определяется путем умножения количества делений, на которое отклонилась стрелка прибора, на цену деления.

С целью уменьшения погрешности измерений предел измерения прибора выбирается так, чтобы измеряемое значение находилось во второй части шкалы. Убедимся в этом, используя формулы погрешностей.

Относительная погрешность измерения:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

где  $\Delta$  – абсолютная погрешность измерения;  
 $x$  – измеренное значение.

Приведенная погрешность прибора:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

где  $x_N$  – нормированное значение. Чаще всего  $x_N = x_K - x_H$ , где  $x_K$ ,  $x_H$  – конечное и начальное значение на шкале прибора.

Из формулы (2.3)

$$\Delta = \frac{\gamma x_N}{100\%} \quad (2.4)$$

Для простоты условимся, что абсолютная погрешность измерения в формуле (2.2) определяется только погрешностью прибора (2.4), и не будем учитывать другие факторы, влияющие на точность измерения. Подставив формулу (2.4) в (2.2), получим относительную погрешность измерения:

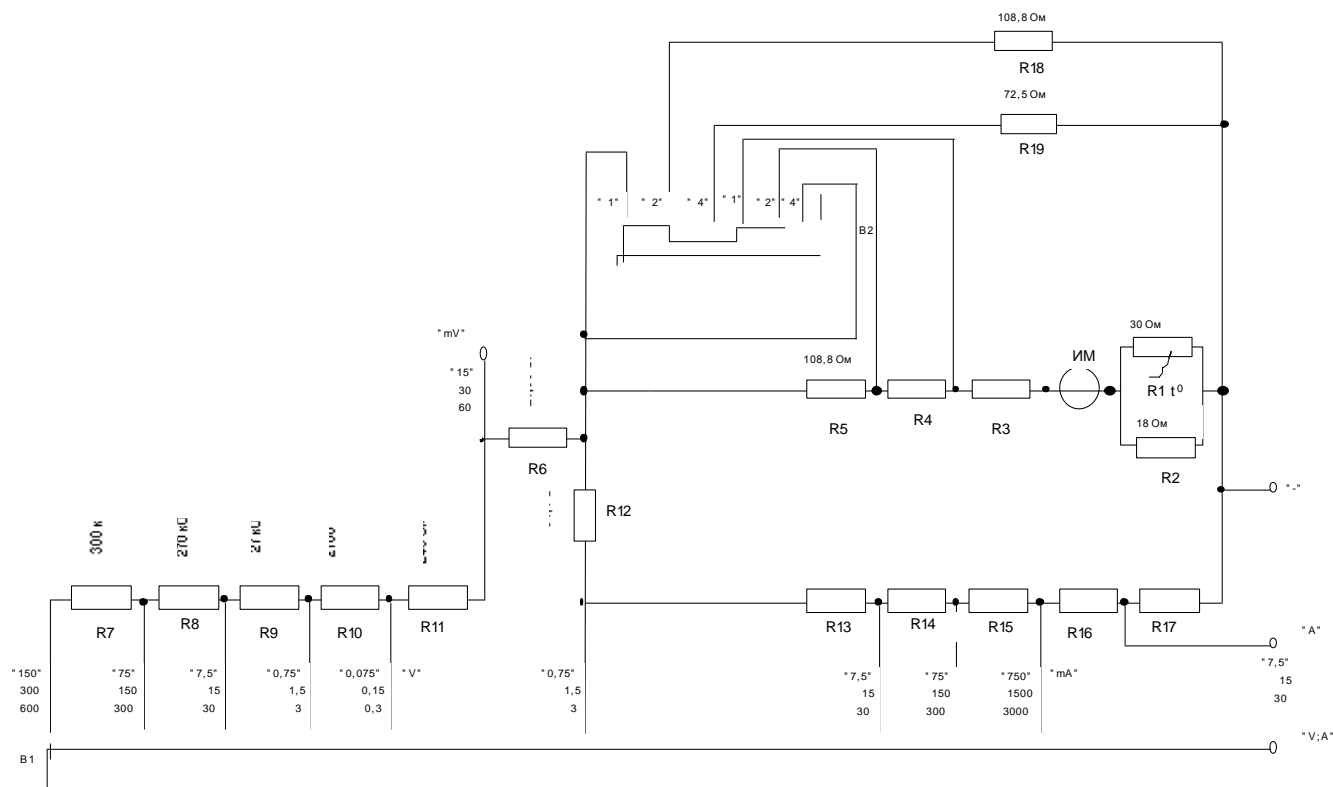
$$\delta = \frac{\gamma \cdot x_N \cdot 100\%}{100\% \cdot x} = \frac{\gamma \cdot x_N}{x} \quad (2.5)$$

Из формулы (2.5) следует, что, чем больше измеряемая величина  $x$  по сравнению с нормированным значением  $x_N$ , тем меньше погрешность измерения этой величины.

Перед включением измерительного прибора в цепь, необходимо

изучить схему электрическую принципиальную прибора и порядок включения прибора, пользуясь “Техническим описанием” на прибор.

Схема электрическая принципиальная вольтамперметра М2018 приведена на рисунке 2.1.



\* - подбирают при регулировании.

B1 – переключатель пределов измерения, B2 – переключатель кратности, ИМ – измерительный механизм.

Рисунок 2.1 - Схема электрическая принципиальная вольтамперметра М2018

Разберем схему включения прибора для измерения тока с пределом измерения 75 мА:

1 Включаем прибор последовательно с нагрузкой с соблюдением полярности: «+» источника подключаем на зажим «V;A», а «-» источника - на зажим прибора «-».

2 Устанавливаем переключатель предела измерения B<sub>1</sub> на предел 75 мА, переключатель кратности B<sub>2</sub> – в положение «1».

3 Цепь тока через прибор (рисунок 2.1): «+» от зажима «V;A» прибора, B<sub>1</sub> с пределом «75 мА», R<sub>14</sub>, R<sub>13</sub>, R<sub>12</sub>, B<sub>2</sub> (1-1), R<sub>3</sub>, ИМ, (R<sub>1</sub> || R<sub>2</sub>), зажим прибора «-». Сопротивления R<sub>14</sub>, R<sub>13</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>3</sub> включены последовательно с измерительным механизмом и служат для ограничения тока через измерительный механизм.

При увеличении предела измерения в 2 раза, необходимо переключатель B<sub>2</sub> поставить в положение «2», т.е. предел измерения будет равен 75 мА × 2 = 150 мА. При этом в измерительную цепь будет включен шунт R<sub>18</sub>.

При одном положении переключателя пределов  $B_1$ , изменяя положение переключателя кратности  $B_2$ : «x1», «x2», «x4», увеличиваем пределы измерения соответственно в 1, 2, 4 раза.

Источники питания постоянного тока являются стабилизированными регулируемыми источниками, которые могут работать в двух режимах:

- режим стабилизированного напряжения;
- режим стабилизированного тока.

### Порядок выполнения работы

1 Ознакомьтесь с приборами и оборудованием, используемыми в работе, по соответствующим «Техническим описаниям». Внесите в таблицу 2.1 основные метрологические характеристики средств измерений (диапазон измерений, предел основной допускаемой погрешности, класс точности). Диапазоны измерений укажите только те, на которых будете проводить измерения.

Таблица 2.1 - Основные технические характеристики средств измерений

| Наименование                | Характеристики                                    | Тип или система | Заводской № | Дополнительные данные |
|-----------------------------|---|-----------------|-------------|-----------------------|
| 1.<br>Вольтамперметр        | 1. Диапазон измерений                             | M2018           |             |                       |
|                             | 2. Предел основной допускаемой погрешности и т.д. |                 |             |                       |
| 2.<br>Магазин сопротивлений | 1. Диапазон измерений                             |                 |             |                       |
|                             | 2. Предел основной допускаемой погрешности и т.д. |                 |             |                       |

2 Соберите измерительную цепь по рисунку 2.2, используя в качестве нагрузки магазин сопротивлений, а в качестве источника питания – стабилизированный блок питания (БП5 – 45А) в режиме стабилизации напряжения с параметрами  $U_{ист} = 5В$ ,  $I_{ист} = 0,25А$ .

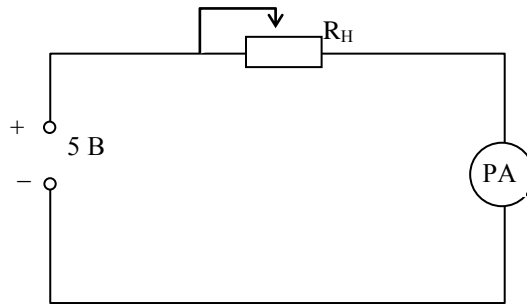


Рисунок 2.2 - Схема измерения тока

3 Выберите диапазон измерения прибора.

4 После проверки схемы преподавателем, измерьте ток в цепи при двух значениях сопротивления нагрузки, выбрав предварительно на приборе необходимый предел измерений. Данные занесите в таблицу 2.2, вычислив абсолютную погрешность измерения по формуле (2.4).

5 Соберите измерительную цепь по рисунку 2.3, используя блок питания в режиме стабилизации тока с параметрами источника  $I_{ист} = 0,05 \text{ A}$ ,  $U_{ист} = 9\text{V}$ .

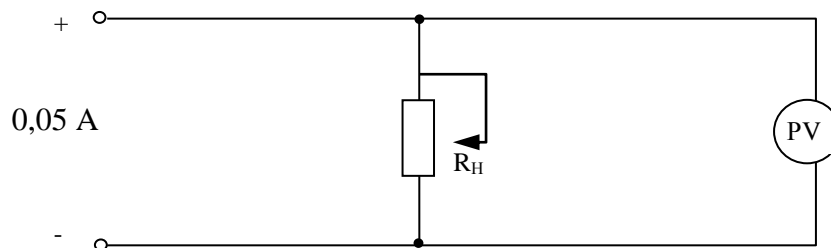


Рисунок 2.3 - Схема измерения напряжения

6 После проверки схемы преподавателем, измерьте напряжение на нагрузке при двух значениях сопротивления нагрузки, выбрав предварительно на приборе необходимый предел измерения  $X_k$ . Данные измерений занесите в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 - Результаты измерений

| № опыта              | $R_n, \text{ Ом}$ | $X_k, \text{ mA (В)}$ | $X, \text{ дел.}$ | $X, \text{ mA (В)}$ | $X_d = X \pm \Delta, \text{ mA (В)}$ |
|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Измерение тока       |                   |                       |                   |                     |                                      |
| 1                    | 100               |                       |                   |                     |                                      |
| 2                    | 2250              |                       |                   |                     |                                      |
| Измерение напряжения |                   |                       |                   |                     |                                      |
| 3                    | 48                |                       |                   |                     |                                      |
| 4                    | 122,4             |                       |                   |                     |                                      |

$X_k$  - предел измерения, выбранный на приборе;

$X$  - измеренное значение;

$X_d$  - действительное значение.

7 Оформите отчет.



## Вопросы для самопроверки к лабораторной работе 2

- 1 Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы.
- 2 Назначение шунтов и добавочных резисторов.
- 3 Метод устранения температурной погрешности в приборах магнитоэлектрической системы.
- 4 Измерительная цепь прибора для выбранного предела измерения (по схеме рисунок 2.2).
- 5 Условные обозначения на шкале прибора.
- 6 Как определить абсолютную, относительную погрешность измерительного прибора?
- 7 Как выбрать предел измерения прибора?

### Тема 2.3 Электронные вольтметры. Классификация. Схемы

Студент должен:

*иметь представление:*

- о среднем, амплитудном и среднеквадратичном значениях напряжений;

- о форме и параметрах импульсного сигнала;

- о гармонических составляющих сигнала;

*знать:*

- классификацию радиоизмерительных приборов;

- особенности электронных вольтметров;

- способы измерения средних, амплитудных и среднеквадратичных значений;

- особенность измерения импульсных напряжений;

*уметь:*

- производить измерения электронными вольтметрами различных типов с заданной точностью.

Вольтметры постоянного тока со стрелочным отсчетом. Вольтметры переменного напряжения. Вольтметры средних значений, вольтметры амплитудных значений. Вольтметры среднеквадратичных значений. Универсальные вольтметры, их особенности.

Градуировка шкалы вольтметра в значениях напряжения и децибелах.

Основные параметры импульса. Структурная схема, назначение и взаимодействие блоков импульсного вольтметра. Область применения, примеры промышленных вольтметров.

Отличие селективных вольтметров от широкополосных электронных вольтметров.

Литература [1. с 80-90; 2. с 94-102].

## Вопросы для самопроверки

- 1 Как рассчитать цену деления многопредельного прибора?
- 2 Какие требования предъявляются к входному сопротивлению вольтметра?
- 3 По каким признакам классифицируются электронные аналоговые вольтметры?
- 4 По каким структурным схемам строятся электронные аналоговые вольтметры?
- 5 Поясните принцип действия амплитудного преобразователя с открытым и закрытым входом.
- 6 Объясните принцип действия электронного вольтметра средневыпрямленных значений.
- 7 Как влияет форма сигнала на показания вольтметров различных систем.
- 8 Какие вольтметры для измерения переменного напряжения имеют наиболее простое схемное решение, наибольшую точность, наиболее широкий частотный диапазон?
- 9 Определите показания магнитоэлектрического, детекторного однополупериодного и амплитудного с закрытым входом вольтметров при подаче на них сигнала вида  $u(t) = 20 + 15\sin\omega t$ .

### Тема 2.4 Цифровые вольтметры. Классификация. Схемы

Студент должен:

*иметь представление:*

- об аналого-цифровом преобразовании сигнала;

*знать:*

- сравнительную характеристику цифровых вольтметров различных типов;

*уметь:*

- подбирать цифровые вольтметры по справочным материалам;

- производить измерения цифровыми вольтметрами различных типов с заданной точностью.

Общие сведения о цифровых вольтметрах. Достоинства и недостатки. Аналого-цифровое преобразование сигнала. Структурные схемы и принцип работы цифровых вольтметров. Время-импульсный цифровой вольтметр. Цифровой вольтметр с частотно-импульсным преобразованием и двойным интегрированием. Мультиметры.

Литература [1. с 90-99; 2. с 158-187; 3. с 162-171].

## Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите основные элементы цифровых вольтметров.
- 2 Каковы преимущества цифровых измерительных приборов?
- 3 Объясните основные принципы преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой.
- 4 Какие типы кодов применяются в цифровых средствах измерения? Каковы преимущества двоично-десятичного кода?
- 5 Каково назначение аналого-цифрового преобразователя?
- 6 Поясните причины появления погрешности дискретности.
- 7 Каковы преимущества АЦП с частотно-импульсным преобразованием?
- 8 Что представляют собой мультиметры?

## Тема 2.5 Измерение мощности в цепях постоянного тока и тока промышленной частоты

Студент должен:

*иметь представление:*

– о цепях постоянного тока и тока промышленной частоты;

*знать:*

– методы измерения активной мощности;

– методы измерения реактивной мощности.

Особенности измерения мощности. Измерение мощности в цепях постоянного тока и переменного тока промышленной частоты. Метод амперметра и вольтметра. Электродинамические и ферродинамические ваттметры. Измерение реактивной мощности.

Литература [2. с 99-104].

## Вопросы для самопроверки

- 1 Какими приборами можно измерить мощность в цепях постоянного тока?
- 2 Какими приборами можно измерить мощность в цепях переменного тока?
- 3 Как обозначаются генераторные зажимы ваттметров?
- 4 Какую измерительную систему имеют ваттметры постоянного и низкочастотного переменного тока?
- 5 Приведите схемы включения ваттметров в трехфазную цепь.
- 6 Что необходимо знать при определении мощности импульсного сигнала?
- 7 Что такое болометр и где он используется?

## **Раздел 3 Измерение параметров и характеристик электротехнических цепей и компонентов**

### **Тема 3.1 Измерение параметров компонентов с сосредоточенными постоянными**

Студент должен:

*знать:*

- методику и средства измерения параметров компонентов с сосредоточенными постоянными на низких и высоких частотах;
- правила подключения измеряемого объекта к измерительной цепи;

*уметь:*

- подбирать измерительные средства;
- измерять параметры компонентов электрических цепей с сосредоточенными постоянными;
- определять погрешности измерений.

Метод непосредственной оценки параметров. Мостовой метод измерения  $R$ ,  $L$  и  $C$ . Методика измерения сопротивления, емкости, тангенса угла диэлектрических потерь, индуктивности и добротности. Погрешности измерений. Цифровые мосты. Особенности резонансного метода измерения и область его применения. Измерение индуктивности, емкости и добротности резонансным методом. Куметр: структурная схема, принцип действия. Автоматизация измерений. Цифровые измерители добротности. Способы подключения измеряемого объекта к измерительной цепи.

Литература [1. с 105-125].

### **Вопросы для самопроверки**

- 1 Запишите уравнение баланса моста постоянного тока.
- 2 Какие параметры элементов электрических цепей можно определить с помощью мостовой схемы?
- 3 Запишите уравнение баланса моста переменного тока.
- 4 Сколько приемов уравнивания необходимо для уравнивания моста переменного тока?
- 5 Почему нельзя использовать мостовой метод на высоких частотах?
- 6 На каких частотах используется резонансный метод?
- 7 Индикатор какого типа используется в аналоговых измерительных мостах постоянного тока?

## Тема 3.2 Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Студент должен:

*иметь представление:*

- о видах интегральных микросхем;
- о параметрах интегральных микросхем;

*знать:*

- методику и средства измерения параметров диодов и транзисторов;

- визуальные способы исследования параметров полупроводниковых приборов;

*уметь:*

- измерять параметры полупроводниковых приборов с помощью испытателей различных типов.

Классификация испытателей полупроводниковых приборов. Правила и методы измерения параметров полупроводниковых приборов. Визуальные способы исследования параметров полупроводниковых приборов. Промышленные образцы современных испытателей полупроводниковых приборов.

Особенности измерения параметров и характеристик ИМС. Организация измерений. Промышленные образцы современных измерителей, их краткая характеристика.

Литература [1. с 162-180].

### Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое вольт-амперная характеристика полупроводникового диода?
- 2 Какие электрические параметры определяют прямую ветвь ВАХ диода?
- 3 Какие электрические параметры определяют обратную ветвь ВАХ диода?
- 4 Каким параметром характеризуется эффективность выпрямления полупроводникового диода?
- 5 Назовите методы измерения ВАХ диодов или транзисторов?
- 6 Как проверяются линейные ИМС?
- 7 Как проверяются цифровые ИМС в статическом режиме?
- 8 По каким признакам и параметрам классифицируются ИМС?
- 9 В чем состоит проверка цифровых ИМС методом вольтметра?

## Раздел 4 Приборы формирования стандартных измерительных сигналов

### Тема 4.1 Генераторы измерительные

Студент должен:

*иметь представление:*

- об особенностях низкочастотных измерительных генераторов;
- о системе классификации низкочастотных генераторов (ГНЧ);
- о первичных источниках шума;
- о параметрах импульсных сигналов;

*знать:*

- способы включения генератора в измерительную цепь;
- типы задающих генераторов, их особенности;
- структурную схему ГНЧ и назначение элементов;
- разновидности высокочастотных генераторов (ВЧ-генераторов);
- панели управления генератора и их состав;
- эксплуатационные характеристики генераторов;
- метрологические характеристики генераторов импульсных сигналов и шума;

*уметь:*

- выбирать генератор в зависимости от поставленной измерительной задачи;
- настраивать генератор на заданный режим работы;
- контролировать параметры генератора;
- выбирать режим работы, исходя из требуемых условий.

Назначение измерительных генераторов. Классификация по частотному диапазону и форме выходного сигнала. Виды модуляции в измерительных генераторах. Особенности ГС и ГСС.

Классификация генераторов низкой частоты. Общая структурная схема ГНЧ, назначение элементов. Основные типы задающих генераторов. Регулировка и отсчет частоты и напряжения выходного сигнала. Согласование выходного сопротивления генератора с сопротивлением нагрузки. Промышленные образцы генераторов низкой частоты и их основные технические характеристики.

Разновидности ВЧ-генераторов. Типовая структурная схема ВЧ-генератора, назначение элементов, принцип работы. Установка заданной частоты, необходимого уровня напряжения несущего сигнала и требуемых параметров модуляции. Панели управления. Промышленные образцы измерительных ВЧ-генераторов; их основные технические характеристики.

Классификация генераторов импульсов. Структурная схема. Назначение элементов, принцип работы. Регулировка амплитуды, длительности и частоты следования импульсов.

Литература [3. с 117-138].

## Вопросы для самопроверки

- 1 По каким признакам классифицируются измерительные генераторы?
- 2 Какие параметры генераторов нормируются?
- 3 Каковы особенности построения генераторов низкой частоты?
- 4 Какие виды модуляции применяются в генераторах высокой частоты?
- 5 По каким классам точности выпускаются генераторы высокой частоты?
- 6 Как обозначаются классы точности генераторов ВЧ?
- 7 Какие типы задающих генераторов используются для построения генераторов СВЧ?
- 8 Какими преимуществами обладают синтезаторы частоты?
- 9 Перечислите метрологические характеристики генераторов импульсов.
- 10 Какие первичные источники шума вы знаете?
- 11 Как строятся низкочастотные генераторы шума?
- 12 Зачем необходимо согласование выходного сопротивления генератора с нагрузкой? Как оно выполняется?

## Раздел 5 Исследование формы сигналов

### Тема 5.1 Универсальные осциллографы

Студент должен:

*знать:*

- классификацию, характеристики и области применения осциллографов;
- виды разверток;
- виды и назначение синхронизации;
- органы управления осциллографа;
- правила включения осциллографа в схему измерения. Назначение осциллографа. Классификация осциллографов: назначение, краткая характеристика и области применения. Упрощенная структурная схема, краткая характеристика каналов X, Y и Z осциллографа. Развертка в осциллографе. Виды развертки: непрерывная линейная, непрерывная круговая, ждущая, разовая (однократная). Калибраторы осциллограмм. Принцип получения видимого изображения сигнала. Необходимость синхронизации, виды синхронизации. Ждущая развертка. Ее особенности и применение. Включение осциллографа в измерительную цепь. Основные технические характеристики осциллографа. Выбор осциллографа. Промышленные образцы электронных осциллографов.

Литература [3. с 139-157].

## Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите основные характеристики осциллографов?
- 2 Перечислите виды разверток.
- 3 Перечислите требования, предъявляемые к генератору непрерывной развертки осциллографа?
- 4 Объясните назначение и область применения ждущей развертки?
- 5 Объясните назначение линии задержки в канале вертикального отклонения осциллографа?
- 6 Как получить на экране осциллографа круговую развертку?
- 7 Как превратить круговую развертку в спиральную?
- 8 Каковы особенности скоростного осциллографа?

## Тема 5.2 Способы отсчета напряжения и временных интервалов электрических сигналов

Студент должен:

*знать:*

- методы измерения амплитудных и временных значений сигналов методами калиброванной шкалы, компенсационным и сравнения;
- типы калиброванных шкал;
- погрешности, возникающие при измерении осциллографом;
- методы уменьшения погрешностей;

*уметь:*

- измерять параметры электрических сигналов различными методами;
- выбирать вид осциллографа в зависимости от поставленной измерительной задачи;
- определять погрешность измерений.

Типы калиброванных шкал, масштабные коэффициенты при измерении напряжения и времени. Техника осциллографических измерений. Метод калиброванной шкалы, компенсационный метод, метод сравнения, метод задержанной развертки. Использование дифференциальных входов. Погрешности, возникающие при измерении. Методы уменьшения погрешностей.

Литература [3. с 158-171].

## Вопросы для самопроверки

- 1 На вход осциллографа подаются импульсы длительностью 0,2 мкс. Коэффициент развертки 0,1 мкс/см, рабочая дина горизонтальной части экрана 6 см. определить положение импульса на экране, если линия в канале Y имеет время задержки 0,2 мкс.



2 С помощью осциллографа измеряется амплитуда синусоидального напряжения с частотой 1 МГц. Размер осциллограммы по вертикали 50 мм при коэффициенте отклонения канала  $Y$  5 мм/В. Погрешность калибратора амплитуды осциллографа 3%, верхняя граничная частота канала  $Y$  1 МГц. Определите амплитуду колебания, абсолютную и относительную погрешность измерения.

3 С помощью осциллографа измерена длительность нарастания фронта прямоугольного импульса. Результат измерения – 1 мкс. Определите длительность фронта. Если время нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения составляет 35 нс.

4 Можно ли импульс колоколообразной формы с длительностью нарастания фронта 200 нс исследовать с помощью осциллографа имеющего верхнюю граничную частоту канала  $Y$  5 МГц?

5 На вход осциллографа подается синусоидальное колебание с частотой 50 кГц. Длительность прямого хода развертки 17,5 мкс, длительность обратного хода 2,5 мкс. Нарисуйте вид осциллограммы.

### **Тема 5.3 Двухканальные и двухлучевые осциллографы**

Студент должен:

*знать:*

- особенности двухлучевого осциллографа;
- особенности двухканального осциллографа;
- правила включения двухлучевого и двухканального осциллографов в схему измерения;

Понятие о многолучевых осциллографах и их отличительные особенности. Двухлучевые осциллографы: правила включения в схему измерения. Понятие о двухканальном осциллографе и его отличительные особенности; правила включения в схему измерения. Промышленные образцы двухлучевых и двухканальных осциллографов.

Литература [3. с 171-167].

### **Вопросы для самопроверки**

1 Каковы правила включения двухлучевого осциллографа в схему измерения?

2 Каковы отличительные особенности двухканального осциллографа?

3 Какие осциллографы считаются многолучевыми?

4 Какие отличительные особенности многолучевых осциллографов?

### **Раздел 6 Измерение параметров сигналов**

Студент должен:

*знать:*

- методы измерения частоты; методику измерения интервалов времени; правила включения электронно-счетного частотомера в схему измерений;

- методы измерения фазового сдвига; фазометры и области их применения; правила включения фазометров в схему измерения;

- виды искажений формы сигналов; причины, их вызывающие; методы и средства измерения искажений формы сигналов и область их применения;

- характеристики модулированных сигналов; основные методы измерения глубины модуляции и девиации частоты; современные типы измерителей параметров модулированных сигналов;

- методику измерения параметров четырехполюсников по АЧХ;

*уметь:*

- выбирать метод измерения и вид измерительного прибора для решения конкретной измерительной задачи;

- измерять частоту и интервалы времени различными методами;

- получать АЧХ, используя различные методы; определять параметры четырехполюсников с помощью АЧХ;

- оценивать точность произведенных измерений.

Измерение частоты и временных интервалов. Понятие об эталонах частоты. Виды частотоизмерительных приборов. Стандарты частоты и времени. Измерение частоты методом сравнения. Электронно-счетные частотомеры: упрощенная структурная схема, назначение элементов. Органы управления электронно-счетным частотомером.

Измерение сдвига фаз: общие сведения о фазе и фазовых сдвигах. Методы измерения сдвига фаз и их краткая характеристика. Технические характеристики перспективных фазометров.

Электронные методы измерения интервалов времени, сдвига фаз. Метрологическое обеспечение средств измерения частоты, временных интервалов, сдвига фаз.

Измерение искажений формы сигналов: характеристики искажений формы сигналов. Методы измерений искажения формы сигналов: аналоговые и цифровые. Средства измерений нелинейных искажений. Метрологическое обеспечение средств измерений характеристик искажений формы сигналов.

Измерение параметров модулированных сигналов.

Характеристики и параметры модулированных сигналов. Методы и средства измерений параметров модулированных сигналов. Принципы построения измерителей модуляции и их основные характеристики.

АЧХ. Методы измерения параметров АЧХ. Структурная схема измерителя АЧХ, назначение элементов. Исследование высокочастотных колебаний. Автоматизация процессов измерения АЧХ.

Литература [2. с 127-159].

### Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите основную единицу измерения частоты сигнала.
- 2 Назовите основную единицу измерения периода повторения сигнала.
- 3 Электромеханические приборы каких систем используют для измерения фазового сдвига?
- 4 Какую функцию выполняют фазовращатели?
- 5 В чем заключается принцип работы фазометра со встроенным микропроцессором?
- 6 Приведите определение коэффициента гармоник.
- 7 Какие причины вызывают искажение формы гармонического сигнала?
- 8 Какая связь существует между номером гармоники и величиной ее амплитуды?
- 9 Что собой представляет АЧХ?
- 10 Перечислите методы измерения параметров АЧХ четырехполюсника?
- 11 Что такое полоса пропускания четырехполюсника?
- 12 Из каких основных узлов состоит измеритель АЧХ?

### Раздел 7 Автоматизация измерений

#### Тема 7.1 Влияние измерительных приборов на точность измерений

Студент должен:

*знать:*

- влияние различных факторов на результат измерений;
- основы выбора измерительных приборов;

*уметь:*

- подбирать измерительные приборы в зависимости от требуемой точности.

Комплексное входное сопротивление прибора. Влияние коэффициента мощности, монтажа, напряжения, прогрева, пространственного расположения, температуры, формы сигнала и частоты на результат измерения. Выбор средства измерения. Методы подавления помех при измерениях. Выбор требуемой точности измерений.

Литература [3. с 263-282].

## Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите методы подавления помех при измерениях.
- 2 Как влияет качество монтажа на результат измерения?
- 3 Как влияет форма и частота сигнала на результат измерения?
- 4 Почему перед измерением необходим прогрев прибора?

## Тема 7.2 Автоматизация измерений

Студент должен:

*знать:*

- достоинства и недостатки при использовании микропроцессорных измерительных приборов;
- структуру контрольно-измерительных систем;
- универсализацию и унификацию средств измерения общего применения.

Классификация автоматизированных средств измерений. Понятие о гибких измерительных системах, измерительно-вычислительных комплексах (ИВК), интеллектуальные измерительных системах (ИИС). Функции микропроцессорной системы. Условия применения и ограничения использования микропроцессоров. Компьютерно-измерительные системы (КИС): структура, особенности, общая характеристика.

Литература [1. с 181-192].

## Вопросы для самопроверки

- 1 Чем вызвана необходимость автоматизации измерений?
- 2 В чем состоит суть первой ступени автоматизации?
- 3 В чем состоит суть второй ступени автоматизации?
- 4 Приведите классификацию ИИС?
- 5 Что такое ИВК?
- 6 Каков принцип построения современных ИИС?
- 7 Что такое децентрализованные ИИС?
- 8 Чем отличаются централизованные ИИС децентрализованных?
- 9 Расскажите о виртуальных приборах.
- 10 Каковы достоинства и недостатки виртуальных приборов по сравнению с микропроцессорными?

## Контрольная работа

| Вариант | Задания |    |    |    |    |
|---------|---------|----|----|----|----|
|         | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 1       | 1       | 11 | 21 | 31 | 41 |
| 2       | 2       | 12 | 22 | 32 | 42 |
| 3       | 3       | 13 | 23 | 33 | 43 |
| 4       | 4       | 14 | 24 | 34 | 44 |
| 5       | 5       | 15 | 25 | 35 | 45 |
| 6       | 6       | 16 | 26 | 36 | 46 |
| 7       | 7       | 17 | 27 | 37 | 47 |
| 8       | 8       | 18 | 28 | 38 | 48 |
| 9       | 9       | 19 | 29 | 39 | 49 |
| 10      | 10      | 20 | 30 | 40 | 50 |

| Номер задания     | Задания   |                 |       |       |       |       |       |   |                   |                   |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|---|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1                 | <p>Произведено 7 измерений емкости конденсатора, давших значения емкости, приведенные в таблице. Определите с доверительной вероятностью 0,95 интервал, в котором лежит значение измеренной емкости.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Номер измерения</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Числовые значения</td> <td>150,6</td> <td>150,8</td> <td>150,0</td> <td>151,6</td> <td>149,6</td> <td>152,6</td> <td>152,7</td> </tr> </tbody> </table> | Номер измерения | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6 | 7                 | Числовые значения | 150,6 | 150,8 | 150,0 | 151,6 | 149,6 | 152,6 | 152,7 |
| Номер измерения   | 1   | 2               | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |   |                   |                   |       |       |       |       |       |       |       |
| Числовые значения | 150,6   | 150,8           | 150,0 | 151,6 | 149,6 | 152,6 | 152,7 |   |                   |                   |       |       |       |       |       |       |       |
| 2                 | <p>Произведено 6 измерений напряжения на участке цепи, давших значения, приведенные в таблице. Определите погрешность измерения и запишите результат измерения напряжения, определенный с доверительной вероятностью 0,99.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Номер измерения</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Числовые значения</td> <td>220,2</td> <td>220,9</td> <td>221,0</td> <td>222,1</td> <td>221,6</td> <td>220,9</td> </tr> </tbody> </table>     | Номер измерения | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6 | Числовые значения | 220,2             | 220,9 | 221,0 | 222,1 | 221,6 | 220,9 |       |       |
| Номер измерения   | 1   | 2               | 3     | 4     | 5     | 6     |       |   |                   |                   |       |       |       |       |       |       |       |
| Числовые значения | 220,2   | 220,9           | 221,0 | 222,1 | 221,6 | 220,9 |       |   |                   |                   |       |       |       |       |       |       |       |
| 3                 | <p>Каков физический смысл дисперсии и СКО? Приведите формулы.</p>   |                 |       |       |       |       |       |   |                   |                   |       |       |       |       |       |       |       |
| 4                 | <p>Дайте определение случайной погрешности. Приведите пример случайной погрешности.<br/>Можно ли устранить случайную погрешность? Если можно, то</p>  |                 |       |       |       |       |       |   |                   |                   |       |       |       |       |       |       |       |

|    |  |
|----|--|
|    | как?   |
| 5  | <p>Дайте определение систематической погрешности. Приведите пример.</p> <p>Можно ли устранить систематическую погрешность? Если можно, то как?</p>   |
| 6  | <p>Определите доверительный интервал для среднего арифметического значения при доверительной вероятности 0,95, если пятикратное измерение тока дало следующие результаты: 5,110; 5, 111; 5,109; 5,113; 5,112. Оцените результат измерения и запишите его</p>   |
| 7  | <p>Произведено 12 измерений напряжения радиосигнала одним и тем же прибором, не имеющим систематической погрешности, причем выборочное среднее квадратическое отклонение <math>\sigma</math> случайных погрешностей оказалось равным – 0,6 В. Найдите границы погрешности этого прибора с вероятностью 0,99.</p> |
| 8  | <p>Шестикратное (<math>n=6</math>) измерение сопротивления дало следующие результаты: 72,361; 72,357; 72,352; 72, 346; 72,344; 72, 340 Ом. Определите доверительный интервал для среднего арифметического значения при доверительной вероятности 0,99.</p>   |
| 9  | <p>Запишите уравнение закона нормального распределения случайных погрешностей, изобразите его графически и назовите все величины в него входящие.</p>  |
| 10 | <p>Произведено 6 измерений напряжения на участке цепи, давших значения: 24,520; 24,521; 24,519; 24,522; 24,523; 24,518. Определите погрешность измерения и запишите результат измерения напряжения, определенный с доверительной вероятностью 0,95.</p>  |
| 11 | <p>Приборы магнитоэлектрической системы: УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.</p>   |
| 12 | <p>Приборы электромагнитной системы. УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.</p>   |
| 13 | <p>Приборы электродинамической системы. УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.</p>  |
| 14 | <p>Выпрямительные приборы. УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.</p>   |
| 15 | <p>Термоэлектрические приборы. УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.</p>   |
| 16 | <p>Электростатические приборы. УГО, устройство, принцип</p>  |

|    |  |
|----|--|
|    | действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.   |
| 17 | Измерительный мост постоянного тока. Схема. Условие равновесия моста. Области применения.  |
| 18 | Измерительный мост переменного тока. Схема. Условие равновесия моста. Области применения.  |
| 19 | Измерение сопротивлений методом амперметра-вольтметра.   |
| 20 | Измерение мощности электродинамическим вольтметром. Схемы включения, работа.   |
| 21 | Определить для вольтметра с пределом измерения 30 В класса точности 0,5 относительную погрешность для точек 5, 10, 15, 20, 25 и 30 В и наибольшую абсолютную погрешность прибора.  |
| 22 | Вольтметр с пределом измерения 7,5 В и максимальным числом делений 150 имеет наибольшую абсолютную погрешность 36 мВ. Определить класс точности прибора и относительную погрешность в точках 40, 80, 90, 100 и 120 делений.  |
| 23 | Амперметр класса точности 1,5 имеет 100 делений. Цена каждого деления 0,5 А. Определить предел измерения прибора, наибольшую абсолютную погрешность и относительную погрешность в точках 10, 30, 50, 70 и 90 делений.  |
| 24 | При поверке амперметра с пределом измерения 10 А класса точности 0,5 относительная погрешность на отметке 2 А составила 4,5%. Определить, соответствует ли прибор указанному классу точности, если абсолютная погрешность в этой точке имеет наибольшее значение                 |
| 25 | Милливольтметр магнитоэлектрической системы класса точности 0,5 с пределами измерений 3; 1,5; 0,6; 0,3; 0,15 В имеет максимальное число делений 150. Определить для каждого предела наибольшее и наименьшее значения измеряемых напряжений в точке, соответствующей 40 делениям. |
| 26 | Определить класс точности микроамперметра с двусторонней шкалой и пределом измерения 100 мкА, если наибольшее значение абсолютной погрешности получено на отметке 40 мкА и равно 1,7 мкА. Определить относительную погрешность прибора для этого значения.                       |
| 27 | Для измерения напряжения в электрической цепи используется вольтметр класса точности 1,0 с пределом измерения 300 В. Показание вольтметра 100 В. Определить абсолютную, относительную погрешности измерения и действительную величину измеренного напряжения.                    |
| 28 | Определить абсолютную и относительную погрешности измерения тока амперметром с номинальным предельным  |

|    |  |
|----|--|
|    | значением тока 5 А и классом точности 0,5, если его показание (измеренное значение) 2,5 А.   |
| 29 | При поверке амперметра с пределом измерения 50 А класса точности 0,5 относительная погрешность на отметке 40 А составила 1,5%. Определить, соответствует ли прибор указанному классу точности, если абсолютная погрешность в этой точке имеет наибольшее значение  |
| 30 | Вольтметр с пределом измерения 50 В и максимальным числом делений 100 имеет наибольшую абсолютную погрешность 15 мВ. Определить класс точности прибора и относительную погрешность в точках 40, 80, 90 и 100 делений.  |
| 31 | Предел измерения микроамперметра на 150 мкА должен быть расширен до 15 А. Определить сопротивление шунта, если внутреннее его сопротивление $r_A = 400 \text{ Ом}$ . Определить также класс точности прибора, если наибольшее значение абсолютной погрешности амперметра 100 мА.   |
| 32 | Для расширения предела измерения амперметра с внутренним сопротивлением $r_A = 0,5 \text{ Ом}$ в 50 раз необходимо подключить шунт. Определить сопротивление шунта, ток полного отклонения прибора и максимальное значение тока на расширенном пределе, если падение напряжения на шунте $U_H = 75 \text{ мВ}$ .   |
| 33 | Амперметр с внутренним сопротивлением $r_A = 0,015 \text{ Ом}$ и пределом измерения 20 А имеет шунт сопротивлением 0,005 Ом. Определить предел измерения амперметра с шунтом, а также ток в цепи, если его показание равно 12 А.   |
| 34 | Амперметр с наружным шунтом $R_{ш} = 0,005 \text{ Ом}$ рассчитан на предел измерения 60 А, его внутреннее сопротивление $r_A = 15 \text{ Ом}$ . Определить ток полного отклонения измерительной катушки прибора.   |
| 35 | Амперметр класса точности 1,5 с пределом измерения 100 А имеет наружный шунт сопротивлением $r_{ш} = 0,001 \text{ Ом}$ . Определить сопротивление измерительной катушки прибора, если ток полного отклонения $I = 25 \text{ мА}$ . Определить также наибольшую абсолютную и относительную погрешности измерения следующих значений токов: 20, 30, 50, 75, 80 А. Определить наибольшую потребляемую амперметром мощность. |
| 36 | Имеется многопредельный амперметр. При шунтирующем множителе $n = 100$ амперметр имеет предел 2,5 А и падение напряжения на его зажимах при токе полного отклонения $U_{ном} = 75 \text{ мВ}$ . Определить сопротивления шунтов и пределы измерения прибора при следующих коэффициентах шунтирования: 200, 300, 1000, 2000, 3000, 4000 и 5000.   |



|    |   |
|----|---|
| 37 | Милливольтметр с пределом измерения 750 мВ необходимо переделать в многопредельный вольтметр с пределами 7,5; 15; 75; 150 В. Добавочное сопротивление на пределе 7,5 В составляет 1350 Ом. Определить добавочное сопротивление на каждом из пределов, сопротивление и ток полного отклонения прибора.                     |
| 38 | У вольтметра электродинамической системы с пределом измерения $U_1=300$ В и внутренним сопротивлением $r_B=30$ кОм необходимо расширить предел до 1500 В. Определить добавочное сопротивление вольтметра и максимальную потребляемую мощность на основном и расширенном пределах.   |
| 39 | Предел измерения вольтметра электромагнитной системы составляет 7,5 В при внутреннем сопротивлении $r_B=200$ Ом. Определить добавочное сопротивление, которое необходимо включить для расширения предела измерения до 600 В.  |
| 40 | Милливольтметр с пределом измерения 75 мВ и внутренним сопротивлением $r_B=25$ Ом имеет 150 делений шкалы. Определить сопротивление шунта, чтобы прибором можно было измерять предельное значение тока 30 А. Определить цену деления прибора в обоих случаях  |
| 41 | Мостом постоянного тока производят измерения сопротивления резистора (см. рис. 6). Получены следующие значения сопротивлений плеч моста при его уравнивании: $R_1=136$ Ом, $R_2=1000$ Ом, $R_3=100$ Ом. Определить измеряемое сопротивление и наибольшую абсолютную погрешность измерения, если класс точности моста 1,0. |
| 42 | Определить активное сопротивление индуктивной катушки, измеренное на постоянном токе мостовым методом. При этом значения сопротивлений оказались следующие (см. рис. 6): $R_1=26,387$ Ом, $R_2=100$ Ом, $R_3=10$ Ом. Как изменится сопротивление плеча $R_1$ , если выбрать $R_2=R_3=100$ Ом.                             |
| 43 | На рис.1 представлена уравновешенная мостовая цепь постоянного тока. Определите $R_1$ , если известно, что $R_2=100$ Ом, $R_3=25$ Ом, $R_4=50$ Ом.  |
| 44 | Определить активное сопротивление индуктивной катушки, измеренное на постоянном токе мостовым методом. При этом значения сопротивлений оказались следующие (см. рис. 6): $R_1=26,387$ Ом, $R_2=100$ Ом, $R_3=10$ Ом. Как изменится сопротивление плеча $R_1$ , если выбрать $R_2=R_3=10$ Ом.                              |
| 45 | На рис.2 представлена уравновешенная мостовая цепь. Определите $L_1$ , если известно, что $L_2=100$ мГн, $R_3=100$ Ом, $R_4=50$ Ом.   |
| 46 | Определить активное сопротивление индуктивной катушки,  |

|    |   |
|----|---|
|    | измеренное на постоянном токе мостовым методом. При этом значения сопротивлений оказались следующие (см. рис. 6): $R_1=26,387 \text{ Ом}$ , $R_2=100 \text{ Ом}$ , $R_3=10 \text{ Ом}$ . Как изменится сопротивление плеча $R_1$ , если выбрать $R_2=1000 \text{ Ом}$ .   |
| 47 | На рис.3 представлена уравновешенная мостовая цепь. Определите $C_1$ , если известно, что $C_2 = 1 \text{ мкФ}$ , $R_4 = 1500 \text{ Ом}$ , $R_3 = 3000 \text{ Ом}$ .   |
| 48 | Определить активное сопротивление индуктивной катушки, измеренное на постоянном токе мостовым методом. При этом значения сопротивлений оказались следующие (см. рис. 6): $R_1 = 26,387 \text{ Ом}$ , $R_2 = 100 \text{ Ом}$ , $R_3 = 10 \text{ Ом}$ . Как изменится сопротивление плеча $R_1$ , если выбрать $R_2 = 10 \text{ Ом}$ , $R_3 = 100 \text{ Ом}$ . |
| 49 | На рис.4 представлена уравновешенная мостовая цепь. Определите $R_1$ и $L_1$ , если известно, что $R_2 = 5 \text{ Ом}$ , $L_2 = 0,1 \text{ Гн}$ , $R_4 = 20 \text{ Ом}$ , $R_3 = 10 \text{ Ом}$ .   |
| 50 | Мостовая схема, изображенная на рис.5, уравновешена. Определите $R_1$ и $C_1$ , если известно, что $R_2 = 100 \text{ Ом}$ , $C_2 = 0,1 \text{ мкФ}$ , $R_3 = 100 \text{ Ом}$ , $R_4 = 200 \text{ Ом}$ .   |

Рисунки к заданиям контрольной работы

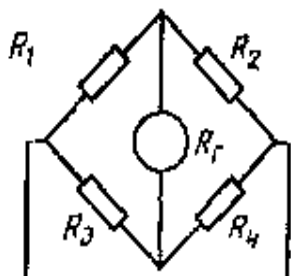


Рис. 1

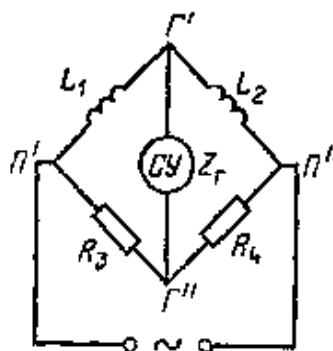


Рис. 2

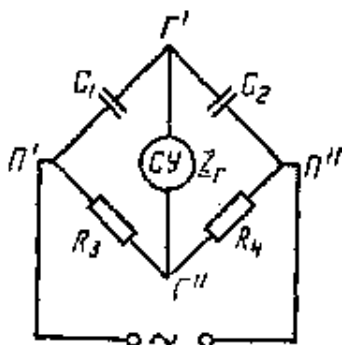


Рис. 3

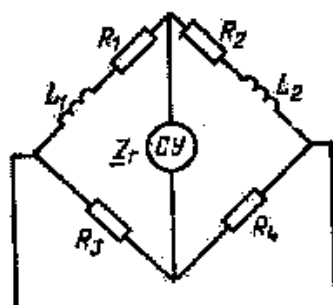


Рис. 4

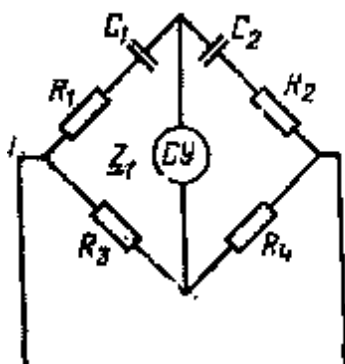


Рис. 5.

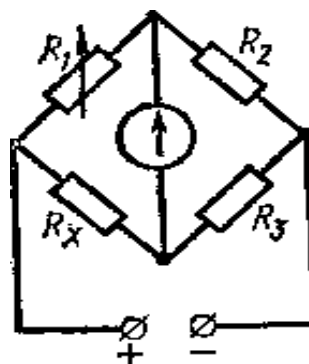


Рис. 6

## Экзаменационные вопросы

- 1 Роль измерений в процессе автоматизации технологических процессов. Требования к измерениям.
- 2 Средства измерений (СИ). Виды СИ.
- 3 Классификация измерительных приборов.
- 4 Международная система единиц SI.
- 5 Виды измерений по измеряемым физическим величинам.
- 6 Методы измерений.
- 7 Погрешности измерений. Правила записи погрешности и результата измерений.
- 8 Классификация погрешностей измерений по различным признакам (по характеру проявления во времени, по причине возникновения, по условиям возникновения).
- 9 Систематические погрешности и способы их компенсации. Суммирование систематических погрешностей.
- 10 Случайные погрешности. Оценка случайных погрешностей.
- 11 Нормальный закон распределения случайных погрешностей и его параметры.
- 12 Доверительный интервал случайной погрешности и доверительная вероятность. Форма записи результата измерения.
- 13 Метрологические характеристики СИ. Условия пригодности СИ.
- 14 Погрешности СИ.
- 15 Законодательная база метрологии. Государственная система приборов (ГСП) и средств автоматизации.
- 16 Основные виды унифицированных сигналов.
- 17 Структурная схема и элементы конструкции электромеханических приборов.
- 18 Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов.
- 19 Меры электрических величин.
- 20 Приборы магнитоэлектрической системы: УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.
- 21 Приборы электромагнитной системы: УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.
- 22 Приборы электродинамической системы: УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.
- 23 Логометры. Гальванометры.
- 24 Выпрямительные приборы: УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.
- 25 Термоэлектрические приборы: УГО, устройство, принцип действия, основные уравнения, достоинства, недостатки.
- 26 Расширение пределов измерения амперметров с помощью шунтов.
- 27 Расширение пределов измерения вольтметров с помощью добавочных резисторов.

- 28 Измерительный мост постоянного тока. Условие равновесия моста. Области применения.
- 29 Измерительный мост переменного тока. Условие равновесия моста. Области применения.
- 30 Компенсатор постоянного напряжения ПП-63.
- 31 Классификация электронных измерительных приборов в зависимости от вида измеряемых величин и характера измерений.
- 32 Структурные схемы аналоговых электронных вольтметров.
- 33 Назначение и типы детекторов (преобразователей). Градуировка вольтметров переменного тока.
- 34 Дискретизация и квантование аналогового сигнала в ЦИП.
- 35 Структурная схема ЦИП. Классификация ЦИП.
- 36 Основные характеристики ЦИП. Преимущества и недостатки ЦИП.
- 37 Время-импульсный цифровой вольтметр.
- 38 Цифровой вольтметр с двойным интегрированием.
- 39 Помехи во входной цепи ЦВ и пути их устранения.
- 40 Измерение сопротивлений методом амперметра-вольтметра.
- 41 Измерение сопротивлений методом непосредственной оценки.
- 42 Измерение сопротивлений электронным омметром.
- 43 Измерение емкости и индуктивности методом амперметра-вольтметра.
- 44 Измерение мощности.


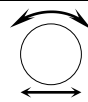

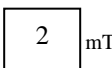

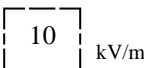
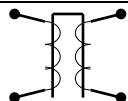








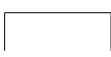
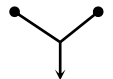
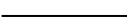


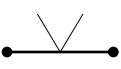






## Приложение А

Коэффициент Стьюдента  $t(P, n)$

| Число наблюдений<br>$n$ | Доверительная вероятность $P_D$ |      |      |      |      |
|-------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                         | 0,8                             | 0,9  | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| 2                       | 3,08                            | 6,31 | 12,7 | 31,8 | 63,7 |
| 3                       | 1,89                            | 2,92 | 4,30 | 6,96 | 9,92 |
| 4                       | 1,64                            | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 |
| 5                       | 1,53                            | 2,13 | 2,77 | 3,75 | 4,60 |
| 6                       | 1,48                            | 2,02 | 2,57 | 3,36 | 4,03 |
| 7                       | 1,44                            | 1,94 | 2,45 | 3,14 | 3,71 |
| 8                       | 1,42                            | 1,90 | 2,36 | 3,00 | 3,50 |
| 9                       | 1,40                            | 1,86 | 2,31 | 2,90 | 3,35 |
| 10                      | 1,38                            | 1,84 | 2,26 | 2,82 | 3,25 |
| 11                      | 1,37                            | 1,81 | 2,23 | 2,76 | 3,17 |
| 12                      | 1,36                            | 1,80 | 2,20 | 2,72 | 3,11 |
| 13                      | 1,36                            | 1,78 | 2,18 | 2,68 | 3,05 |
| 14                      | 1,35                            | 1,77 | 2,16 | 2,65 | 3,01 |
| 15                      | 1,34                            | 1,76 | 2,14 | 2,62 | 2,98 |
| 17                      | 1,34                            | 1,75 | 2,12 | 2,58 | 2,92 |
| 20                      | 1,33                            | 1,73 | 2,09 | 2,54 | 2,87 |
| 30                      | 1,31                            | 1,70 | 2,04 | 2,47 | 2,76 |

## Приложение Б

### Условно-графические обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой |    | Корректор нуля  |    |
| Электромагнитный прибор                        |    | Магнитная индукция, мТл, вызывающая изменение показаний, соответствующая обозначенному классу точности.   |    |
| Логометр магнитоэлектрический                  |    | Электрическое поле (кВ/м), вызывающая изменение показаний, соответствующая обозначенному классу точности. |    |
| Логометр электромагнитный                      |    | Напряжение испытательное 500В   |    |
| Прибор электродинамический                     |    | Напряжение испытательное 2 кВ   |    |
| Логометр электродинамический                   |   | Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит.  |   |
| Прибор ферродинамический                       |  | Прибор применять при вертикальном положении шкалы   |  |
| Логометр ферродинамический                     |  | Прибор применять при горизонтальном положении шкалы   |  |
| Прибор тепловой с нагреваемой нитью            |  | Ток постоянный  |  |
| Прибор электростатический                      |  | Ток переменный  |  |
| Термопреобразователь неизолированный           |  | Ток постоянный и переменный   |  |
| Термопреобразователь изолированный             |  | Направление ориентировки прибора в земном магнитном поле  |  |
| Экран электростатический                       |  | Класс точности при нормировании погрешности, %  | 1.5   |
| Экран магнитный                                |  | То же, при нормировании погрешности от длины шкалы, %   |  |

## Список использованных источников

- 1 Хрусталева З. А. Электротехнические измерения: учебник – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2016. – 208 с.
- 2 Панфилов В. А. Электрические измерения: учебник для сред. проф. образования – 2-е изд., - М.: Издательский центр «Академия», 2016. - 288 с.
- 3 Хромой Б.П. Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: учеб.для техникумов. – М.: Радио и связь, 2014.– 288., с ил.
- 4 Хрусталева З. А. Электротехнические измерения: Задачи и упражнения – М.: КНОРУС, 2016. – 256 с.
- 5 Шишмарев В.Ю. Электрорадиоизмерения. Практикум: учеб. пособие для студ. Сред. проф. образования – 3-е изд., - М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 240 с.
- 6 Тартаковский Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб. для вузов/– М.: Высш. шк., 2015. – 205 с, ил.



## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 3  |
| Тематический план учебной дисциплины.....  | 6  |
| Содержание учебной дисциплины.....   | 8  |
| Контрольная работа.....  | 37 |
| Рисунки к контрольной работе.....  | 43 |
| Экзаменационные вопросы.....   | 44 |
| Приложение А Коэффициент Стьюдента $t(P, n)$ .....   | 46 |
| Приложение Б Условно-графические обозначения на шкалах<br>электроизмерительных приборов..... | 47 |
| Список использованных источников.....  | 48 |