

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МЕТРОЛОГИЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания
по лабораторным работам

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 006.91: 53.082 (076.5)
ББК 30.10я73
М546

Р е ц е н з е н т:

А.А. Скидан – канд. техн. наук, заведующий кафедрой
«Системы контроля и управления атомных станций»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Составители: Е.Ф. Бариева, В.А.Тяпкина

М546 Метрология и измерительная техника: метод. указания по лабораторным работам / Сост. Е.Ф. Бариева, В.А.Тяпкина. - Севастополь: СевГУ, 2018. - 103 с.: ил.

Содержит методические указания к выполнению лабораторных работ, которые охватывают вопросы метрологии и измерительной техники, обработки и представления результатов измерений.

Описание каждой из лабораторных работ включает цель и план работы, основные теоретические и практические сведения по теме работы, порядок выполнения, оформления работы и контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 27.03.01 «Стандартизация и метрология», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и других направлений подготовки СевГУ всех форм обучения.

УДК 006.91: 53.082 (076.5)
ББК 30.10я73

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Техническая экспертиза и управление качеством», протокол № 4 от 2 ноября 2018 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Общие указания	5
Лабораторная работа № 1. Исследование метрологических характеристик технического амперметра	7
Лабораторная работа № 2. Исследование метрологических характеристик технического вольтметра	13
Лабораторная работа № 3. Внесение поправок в показания средств измерения	19
Лабораторная работа № 4. Изучение электронно-лучевого осциллографа и его применение	25
Лабораторная работа № 5. Измерение параметров электрического сигнала с помощью электронно-лучевого осциллографа	40
Лабораторная работа № 6. Контроль метрологических характеристик технических манометров	50
Лабораторная работа № 7. Контроль метрологических характеристик преобразователей типа «сапфир»	58
Лабораторная работа № 8. Измерение состава сред потенциометрическим методом	67
Лабораторная работа № 9. Исследование образцовых деталей методом неразрушающего контроля	76
Лабораторная работа № 10. Измерение геометрических величин и обработка результатов прямых равнорассеянных (равноточных) наблюдений	84
Лабораторная работа № 11. Измерение сопротивления постоянному току косвенным методом	94
Лабораторная работа № 12. Измерение параметров катушки индуктивности косвенным методом	99

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум предназначен для углубленного ознакомления студентов с методами метрологических исследований средств измерительной техники (СИТ), для приобретения практических навыков работы с СИТ и для изучения методов и средств их поверки.

Предлагаемое учебное пособие содержит описания лабораторных работ по курсам «Аналоговые и цифровые средства измерительной техники», «Метрология», «Метрология и информационно-измерительная техника», «Методы и средства измерений и контроля», «Акустические методы неразрушающего контроля» и других дисциплин связанных с метрологией и измерительной техникой. Лабораторный практикум предназначен для студентов всех форм обучения Севастопольского государственного университета.

Значительное место в лабораторном практикуме отводится исследованию физических процессов и основных метрологических характеристик средств измерительной техники.

Описание каждой из лабораторных работ включает цель и программу работы, основные теоретические и практические сведения по теме работы, объяснение к работе, порядок ее выполнения и контрольные вопросы.

Особенностью изложения заданий практикума является отсутствие подробных “пошаговых” инструкций к их выполнению. Это позволяет развивать творческий подход студентов к выполнению работы, заставляет более глубоко изучать теоретический материал и, в дальнейшем, принимать участие в решении более сложных задач курсового и дипломного проектирования.

В начале каждого занятия преподаватель проверяет бланки отчетов и степень подготовки студентов к выполнению работы. Только при соблюдении всех требований относительно оформления отчета, которые приведены в данном руководстве, и твердом знании ответов на вопросы, которые выносятся на самостоятельное предварительное изучение, студенты допускаются к выполнению работы. После чего преподаватель выдает исходные данные по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен быть сдан преподавателю для проверки после полного оформления.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Цель лабораторного практикума по «Метрологии и измерительной технике» - закрепление знаний, полученных на лекциях и при самостоятельной работе с учебной литературой, приобретение навыков выполнения измерений, ознакомление с типовыми средствами измерений и методами обработки результатов измерений.

Студент должен уметь правильно выбрать средства измерений в соответствии с требуемой точностью результата измерений, методически грамотно выполнять измерения типовых физических величин и обрабатывать результаты измерений. Перед выполнением каждой лабораторной работы необходимо изучить основные теоретические положения.

Студенты допускаются к выполнению лабораторной работы только по результатам предварительного опроса. **Включать лабораторные установки можно только с разрешения преподавателя.**

При выполнении расчетов следует использовать средства вычислительной техники и типовые программы.

Отчет о выполненной работе оформляется в соответствии с общими типовыми требованиями. Таблицы и рисунки выполняются с соблюдением требований ЕСКД. Отчет должен содержать следующие сведения: название работы; ее цель; структурную схему измерительной установки; перечень используемых средств измерений; таблицы полученных данных; графики зависимостей; выводы по работе.

Защита отчетов по лабораторным работам проходит после их выполнения.

Охрана труда и техника безопасности при выполнении лабораторных работ

Лабораторные работы составлены в соответствии с требованиями следующих Государственных стандартов: ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1)

Перед выполнением лабораторных работ необходимо изучить инструкцию по технике безопасности при работе на установках в лаборатории и расписаться в «Журнале учета прохождения студентами инструкции по технике безопасности».

Перед началом выполнения лабораторной работы студенты должны ознакомиться со схемой, уяснить порядок включения и выключения аппаратуры, а также порядок выполнения лабораторной работы.

В случае обнаруженных повреждений следует немедленно заявить об этом преподавателю, ведущему занятия.

Запрещается:

- производить пересоединение проводов, находящихся под напряжением;
- самостоятельно производить ремонт аппаратуры и макетов;
- оставлять без надзора включенные лабораторные установки;
- при отключении сетевого питания выдергивать питающий силовой шнур из розетки за провод (необходимо это делать, держась за вилку);
- класть сумки, а также другие личные вещи на приборы, лабораторные установки, устройства.

При возникновении аварийной ситуации или обнаружении искрения или запаха дыма следует немедленно отключить аппаратуру и доложить преподавателю.

После окончания лабораторной работы все схемы, макеты и аппаратура должны быть отключены от сети питания, рабочее место приведено в порядок. Студенты, не выполняющие правила техники безопасности, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

Лабораторная работа № 1

Тема. Исследование метрологических характеристик технического амперметра.

Учебные цели. 1. Углубление теоретических знаний по метрологическим характеристикам, поверке (калибровке) СИТ.

2. Привитие навыков работы на поверочных установках

1. Схема лабораторной установки и применяемые в ней приборы и оборудование

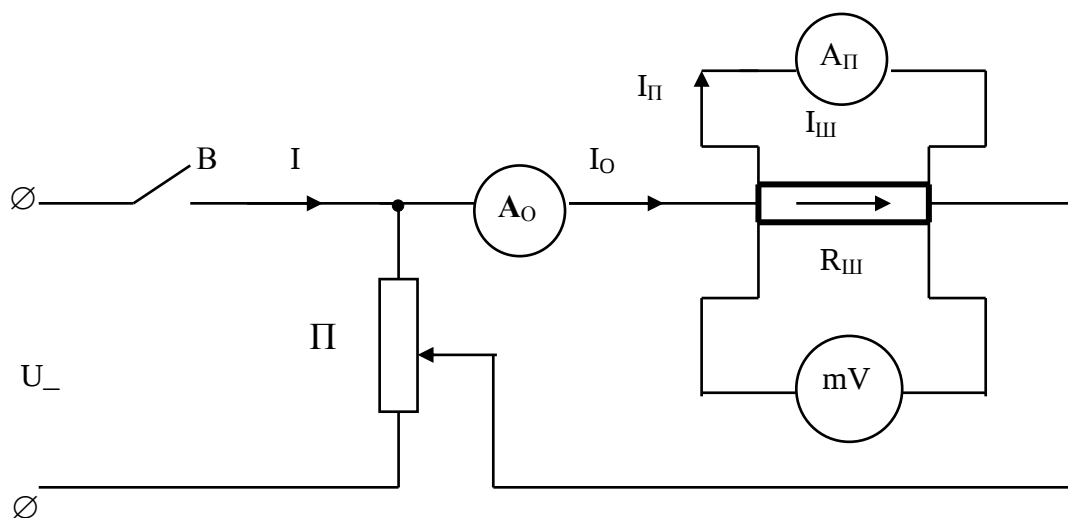


Схема лабораторной установки включает.

1. Источник электрической энергии постоянного тока (аккумуляторная батарея или блок питания постоянного тока) U .

2. Однофазный выключатель B для подключения схемы к источнику питания.

3 Проволочный реостат Π , включенный по схеме потенциометра для плавного изменения питающего напряжения.

4. Исследуемый (поверяемый) технический амперметр A_π магнитоэлектрической системы с шунтом R_π .

5. Образцовый амперметр A_o электродинамической системы.

6. Милливольтметр mV для измерения падения напряжения на измерительном механизме поверяемого амперметра.

Класс точности образцового амперметра должен быть в $3 \div 5$ раз выше класса точности поверяемого амперметра.

Пределы измерения этих амперметров выбираются по возможности одинаковыми.

2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомление с элементами лабораторной установки, запись их номинальных данных и основных метрологических характеристик.
2. Сборка схемы лабораторной установки.
3. Предъявление собранной лабораторной установки преподавателю (инструктору) в целях проверки правильности сборки ее схемы и получение от него разрешения на включение установки под напряжение.
4. Определение основных характеристик технического амперметра.
5. Определение времени успокоения подвижной части и измерительного механизма амперметра.
6. Выполнение поверки технического амперметра методом сличения (сравнения) с образцовым амперметром.
7. Предъявление записей с полученными результатами преподавателю и по его указанию, либо повторение некоторых измерительных опытов.
8. Оформление отчета по проведенной лабораторной работе и сдача его преподавателю в указанные сроки.

3. Методика выполнения работы

3.1. Определение основных характеристик технического амперметра

Основными характеристиками (параметрами) технического амперметра являются.

1. Предел измерений по току I_K . Определяется по шкале прибора.
2. Напряжение полного отклонения подвижной части прибора U_K . Определяется по показаниям милливольтметра при $I_{\Pi} = I_K$.
3. Сопротивление амперметра R_A определяется по формуле $R_A = \frac{U_K}{I_K}$.

Если амперметр включается в цепь с шунтом, то сначала определяется эквивалентное сопротивление прибора по формуле

$$R_{\text{экв}} = U_{\text{Am}} / I_{\text{Am}} = \frac{R_A R_{\text{ш}}}{R_A + R_{\text{ш}}},$$

откуда по известному сопротивлению шунта $R_{\text{ш}}$ определяется сопротивление амперметра R_A .

4. Максимальная мощность, потребляемая амперметром P_{A_m} определяется по формуле $P_{A_m} = U_K I_K$

3.2. Определение времени успокоения подвижной части измерительного механизма амперметра

При определении времени успокоения амперметра с односторонней шкалой указательную стрелку прибора с помощью потенциометра П устанавливают на числовой отметке, ближайшей к середине шкалы. Затем прибор отключают и после успокоения колебания стрелки вновь включают, наблюдая за движением стрелки. Одновременно включают секундомер, который выключается, когда стрелка не удаляется от окончательного положения более чем на 1 % длины шкалы. За время успокоения принимается осредненное (не менее 5 измерений).

Согласно ГОСТ 22261-94 время успокоения подвижной части технических амперметров не должно превышать 4 с.

3.3. Выполнение поверки технического амперметра

Поверка технического амперметра осуществляется методом его сличения (сравнения) с образцовым амперметром. Оба прибора в схеме лабораторной установки всегда включаются последовательно. Порядок выполнения поверки сводится к последовательности следующих действий.

Включив схему лабораторной установки под напряжение и плавно увеличивая с помощью потенциометра показания технического амперметра, устанавливают стрелку поверяемого прибора поочередно на каждой числовой отметке шкалы (или по указанию инструктора), отсчитывая действительное значение измеряемого тока по показаниям образцового прибора.

Пройдя всю шкалу поверяемого амперметра, дают ему малую перегрузку, чтобы стрелка дошла до упора, и затем начинают плавно уменьшать показания, останавливаясь на тех же числовых отметках и записывая показания обоих приборов. Это необходимо для определения погрешности поверяемого прибора при возрастающих и убывающих показаниях, а также вариации его показаний.

Необходимо иметь в виду, что при установке показаний поверяемого прибора стрелку к той или иной отметке нужно подводить плавно, не переходя ее и соблюдая направление изменения показаний. Если случайно желаемая отметка шкалы будет пройдена, то нужно вернуться к исходному положению (к началу или к концу шкалы) и снова подвести стрелку к нужной отметке. Поверяемый прибор в процессе поверки не должен подвергаться сотрясениям, в противном случае результаты поверки будут необъективными. Отсчеты показаний по поверяемому и образцовому приборам должны производиться по команде старшего группы студентов на данном рабочем месте одновременно двумя наблюдателями. По показаниям приборов вычисляются погрешности, вариация показаний и поправки к поверяемому амперметру.

Абсолютная погрешность поверяемого прибора Δ определяется как разность между измеренным значением тока I_{Π} (показанием поверяемого амперметра) и его действительным значением I_o (показанием образцового амперметра)

$$\Delta = I_{\Pi} - I_o, \text{ A.}$$

Относительная погрешность поверяемого прибора δ определяется как отношение его абсолютной погрешности Δ к действительному значению измеряемого тока I_K в процентах

$$\delta = \frac{\Delta}{I_o} \cdot 100, \%$$

Приведенная погрешность поверяемого прибора γ определяется как отношение его абсолютной погрешности Δ к верхнему пределу измерения прибора I_K , выраженное в процентах

$$\gamma = \frac{\Delta}{I_{Am}} \cdot 100, \%$$

Необходимо иметь в виду, что конкретные значения погрешностей характеризуют точность поверяемого прибора лишь в определенных точках его шкалы и неодинаковы в этих точках.

Наибольшее значение приведенной погрешности определяет класс точности поверяемого прибора.

Вариация показаний поверяемого прибора B определяется как наибольшая возможная разность двух повторных показаний в одной и той же точке его диапазона измерений, оцениваемых показаниями образцового прибора, при плавном подходе к этой точке со стороны меньших (слева) $I_o \uparrow$ и больших (справа) $I_o \downarrow$ значений при неизменных внешних условиях, т.е.

$$B = |I_o \uparrow - I_o \downarrow| \text{ A,}$$

где $I_o \uparrow$, $I_o \downarrow$ - показания образцового прибора в направлениях увеличения и уменьшения измеряемого тока соответственно.

Поправка к поверяемому прибору Π определяется как величина, равная абсолютной погрешности прибора Δ , но обратная ей по знаку, т.е.

$$\Pi = -\Delta, \text{ A.}$$

Результаты поверки технического амперметра записываются в приведенную ниже таблицу и используются для построения необходимых графических зависимостей, анализа экспериментальных данных и выводов по работе.

Результаты поверки технического амперметра

№ отсчета	I_{Π}	При возрастании показаний				При убывании показаний				В	П
		I_0	Δ	δ	γ	I_0	Δ	δ	γ		
	А	А	А	%	%	А	А	%	%	А	А

4. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на специальном бланке, который выдается каждому студенту за несколько дней до проведения лабораторных занятий. В бланке отчета должны быть отражены:

1. Название (тема) работы.
2. Учебные цели работы.
3. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.
4. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их основные технические и метрологические характеристики.
5. Вопросы, подлежащие исследованию.
6. Таблица опытных и расчетных данных.
7. Графики и диаграммы.
8. Расчетные формулы и вычисления.
9. Выводы по работе.
10. Оценка отчета по работе и дата его защиты.
11. Подписи преподавателя и студента.

Оформление отчета по лабораторной работе складывается из двух этапов – подготовительного и рабочего.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в часы самостоятельных занятий в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы, нарисовать оси для графиков.

На рабочем этапе, при проведении лабораторной работы студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки, заполнить таблицу опытных и расчетных данных, построить графики зависимости приведенной погрешности и поправок к прибору от его показаний, записать результаты анализа полученных данных, оценить точности поверяемого технического амперметра и сделать выводы по лабораторной работе.

В выводах необходимо оценить характер погрешности амперметра (аддитивный, мультипликативный или смешанный) и определить соответствие найденного в результате поверки класса точности прибора его паспортному значению.

Отчет по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

5. Контрольные вопросы

1. Основные характеристики и параметры амперметра.
2. Нормируемые метрологические характеристики амперметра.
3. Виды погрешностей амперметра.
4. Абсолютная погрешность амперметра.
5. Относительная погрешность амперметра.
6. Приведенная погрешность амперметра.
7. Класс точности амперметра.
8. Вариация показаний амперметра.
9. Поправка к амперметру.
10. Чувствительность амперметра.
11. Цена деления амперметра.
12. Время успокоения подвижной части измерительного механизма амперметра.
13. Расчетные формулы для определения основных метрологических характеристик и параметров амперметра.
14. Методика выполнения поверки амперметра.
15. Основные методы поверки.
16. Анализ результатов поверки амперметра.

Литература

1. *Александров Е.П.* Лабораторные работы по курсу «Электрические измерения» / Е.П. Александров. – Севастополь: СВВМИУ, 1978. - С. 9 - 15.
2. ГОСТ 8.497-83. ГСИ. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки.
3. МИ 1940-88. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений силы переменного электрического тока от 10^{-8} А до 25 А в диапазоне частот от 20 Гц до 1 МГц.
4. Конспект лекций.

Лабораторная работа № 2

Тема. Исследование метрологических характеристик технического вольтметра.

Учебные цели. 1. Углубление теоретических знаний по метрологическим характеристикам, поверке (калибровке) СИТ.

2. Привитие навыков работы на поверочных установках

1. Схема лабораторной установки и применяемые в ней приборы и оборудование

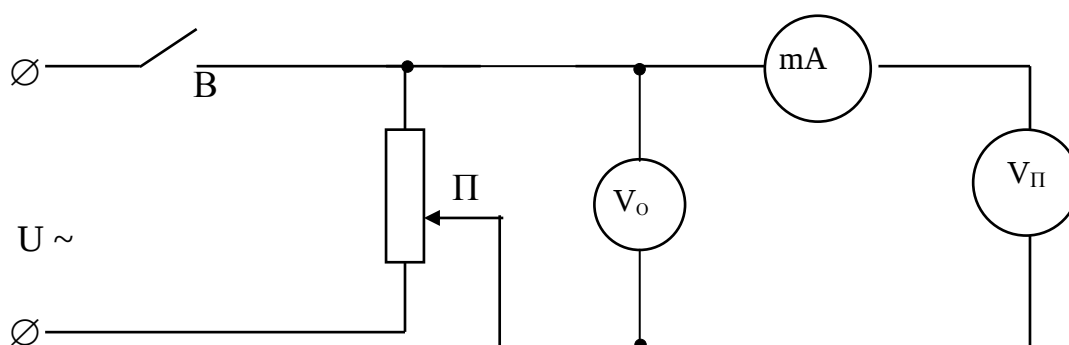


Схема лабораторной установки включает.

1. Источник электрической энергии переменного тока $U_{\sim}$.
2. Однофазный выключатель B для подключения схемы к источнику питания.
3. Проволочный реостат Π , включенный по схеме потенциометра для плавного изменения питающего напряжения.
4. Поверяемый (калибруемый) технический вольтметр V_{Π} электромагнитной системы.
5. Образцовый вольтметр электродинамической системы или цифровой вольтметр $V_{\text{О}}$.
6. Миллиамперметр mA для измерения тока, проходящего через измерительный механизм поверяемого вольтметра.

Класс точности образцового вольтметра должен быть в $3 \div 5$ раз выше класса точности поверяемого вольтметра. Пределы измерения этих вольтметров выбираются по возможности одинаковыми.

2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомление с элементами лабораторной установки, запись их номинальных данных и основных метрологических характеристик.
2. Сборка схемы лабораторной установки.

3. Предъявление собранной лабораторной установки преподавателю (инструктору) в целях проверки правильности сборки ее схемы и получение от него разрешения на включение установки под напряжение.
4. Определение основных характеристик технического вольтметра.
5. Определение времени успокоения подвижной части и измерительного механизма вольтметра.
6. Выполнение поверки технического вольтметра методом сличения (сравнения) с образцовым вольтметром.
7. Предъявление записей с полученными результатами преподавателю и по его указанию либо повторение некоторых измерительных опытов.
8. Оформление отчета по проведенной лабораторной работе и сдача его преподавателю в указанные сроки.

3. Методика выполнения работы

3.1. Определение основных метрологических характеристик технического вольтметра

Основными характеристиками (параметрами) технического вольтметра являются:

1. Предел измерений по напряжению U_K . Определяется по шкале прибора.
2. Ток полного отклонения подвижной части прибора I_K . Определяется по показаниям миллиамперметра при $U_{\Pi} = U_K$.
3. Сопротивление вольтметра R_V . Определяется по формуле $R_V = \frac{U_K}{I_K}$.
4. Максимальная мощность, потребляемая вольтметром P_{V_m} . Определяется по формуле $P_{V_m} = U_K I_K$.

3.2. Определение времени успокоения подвижной части измерительного механизма вольтметра

При определении времени успокоения вольтметра с односторонней шкалой указательную стрелку прибора с помощью потенциометра Π устанавливают на числовой отметке, ближайшей к середине шкалы. Затем прибор отключают и после успокоения колебания стрелки вновь включают, наблюдая за движением стрелки.

Одновременно включают секундомер, который выключается, когда стрелка не удаляется от окончательного положения более чем на 1 % длины шкалы. За время успокоения принимается осредненное (не менее 5 измерений).

Согласно ГОСТ 22261-94 время успокоения подвижной части технических вольтметров не должно превышать 4 с.

3.3. Выполнение поверки технического вольтметра

Поверка технического вольтметра осуществляется методом его сличения (сравнения) с образцовым вольтметром. Оба прибора в схеме лабораторной установки всегда включаются параллельно. Порядок выполнения поверки сводится к последовательности следующих действий.

Включив схему лабораторной установки под напряжение и плавно увеличивая с помощью потенциометра показания технического вольтметра, устанавливают стрелку поверяемого прибора поочередно на каждой числовой отметке шкалы (или по указанию инструктора), отсчитывая действительное значение измеряемого напряжения по показаниям образцового прибора.

Пройдя всю шкалу поверяемого вольтметра, дают ему малую перегрузку, чтобы стрелка дошла до упора, и затем начинают плавно уменьшать показания, останавливаясь на тех же числовых отметках и записывая показания обоих приборов. Это необходимо для определения погрешности поверяемого прибора при возрастающих и убывающих показаниях, а также вариации его показаний.

Необходимо иметь в виду, что при установке показаний поверяемого прибора стрелку к той или иной отметке нужно подводить плавно, не переходя ее и соблюдая направление изменения показаний. Если случайно желаемая отметка шкалы будет пройдена, то нужно вернуться к исходному положению (к началу или к концу шкалы) и снова подвести стрелку к нужной отметке. Поверяемый прибор в процессе поверки не должен подвергаться сотрясениям, в противном случае результаты поверки будут не объективными. Отсчеты показаний по поверяемому и образцовому приборам должны производиться по команде старшего группы студентов на данном рабочем месте одновременно двумя наблюдателями. По показаниям приборов вычисляются погрешности, вариация показаний и поправки к поверяемому вольтметру.

Абсолютная погрешность поверяемого прибора Δ определяется как разность между измеренным значением напряжения U_{Π} (показанием поверяемого вольтметра) и его действительным значением U_o (показанием образцового вольтметра)

$$\Delta = U_{\Pi} - U_o, \text{ В.}$$

Относительная погрешность поверяемого прибора δ определяется как отношение его абсолютной погрешности Δ к действительному значению измеряемого напряжения U_o в процентах

$$\delta = \frac{\Delta}{U_0} \cdot 100, \%$$

Приведенная погрешность поверяемого прибора γ определяется как отношение его абсолютной погрешности Δ к верхнему пределу измерения прибора U_K , выраженное в процентах

$$\gamma = \frac{\Delta}{U_K} \cdot 100, \%$$

Необходимо иметь в виду, что конкретные значения погрешностей характеризуют точность поверяемого прибора лишь в определенных точках его шкалы и неодинаковы в этих точках.

Наибольшее значение приведенной погрешности определяет класс точности поверяемого прибора.

Вариация показаний поверяемого прибора B определяется как наибольшая возможная разность двух повторных показаний в одной и той же точке его диапазона измерений, оцениваемых показаниями образцового прибора, при плавном подходе к этой точке со стороны меньших (слева) $U_o \uparrow$ и больших (справа) $U_o \downarrow$ значений при неизменных внешних условиях, т.е.

$$B = |U_o \uparrow - U_o \downarrow|, \text{ В},$$

где - $U_o \uparrow$, $U_o \downarrow$ показания образцового прибора в направлениях увеличения и уменьшения измеряемого напряжения, соответственно.

Поправка к поверяемому прибору Π определяется как величина, равная абсолютной погрешности прибора Δ , но обратная ей по знаку, т.е.

$$\Pi = -\Delta, \text{ В}.$$

Результаты поверки технического вольтметра записываются в приведенную ниже таблицу и используются для построения необходимых графических зависимостей, анализа экспериментальных данных и выводов по работе.

Таблица

Результаты поверки технического вольтметра

№ отсчета	U_{Π}	При возрастании показаний				При убывании показаний				В	П
		U_o	Δ	δ	γ	U_o	Δ	δ	γ		
	В	В	В	%	%	В	В	%	%	В	В

4. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на специальном бланке, который выдается каждому студенту за несколько дней до проведения лабораторных занятий. В бланке отчета должны быть отражены:

1. Название (тема) работы.
2. Учебные цели работы.
3. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.
4. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их основные технические и метрологические характеристики.
5. Вопросы, подлежащие исследованию.
6. Таблица опытных и расчетных данных.
7. Графики и диаграммы.
8. Расчетные формулы и вычисления.
9. Выводы по работе.
10. Оценка отчета по работе и дата его защиты.
11. Подписи преподавателя и студента.

Оформление отчета по лабораторной работе складывается из двух этапов – подготовительного и рабочего.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в часы самостоятельных занятий в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы, нарисовать оси для графиков.

На рабочем этапе, при проведении лабораторной работы студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки. Заполнить таблицу опытных и расчетных данных, построить графики зависимости приведенной погрешности и поправок к прибору от его показаний, записать результаты анализа полученных данных, оценить точности поверяемого технического вольтметра и сделать выводы по лабораторной работе.

В выводах необходимо оценить характер погрешности вольтметра (аддитивный, мультипликативный или смешанный) и определить соответствие найденного в результате поверки класса точности прибора его паспортному значению.

Отчет по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

5. Контрольные вопросы

1. Основные характеристики и параметры вольтметра.
2. Нормируемые метрологические характеристики вольтметра.
3. Виды погрешностей вольтметра.
4. Абсолютная погрешность вольтметра.
5. Относительная погрешность вольтметра.
6. Приведенная погрешность вольтметра.
7. Класс точности вольтметра.
8. Постоянная вольтметра.
9. Принцип действия вольтметров электромагнитной системы.
10. Вариация показаний вольтметра.
11. Поправка к вольтметру.
12. Чувствительность вольтметра.
13. Цена деления вольтметра.
14. Время успокоения подвижной части измерительного механизма вольтметра.
15. Расчетные формулы для определения основных электрических характеристик и параметров вольтметра.
16. Методика выполнения поверки вольтметра.
17. Основные методы поверки
19. Анализ результатов поверки вольтметра.

Литература

1. *Александров Е.П.* Лабораторные работы по курсу «Электрические измерения» / Е.П. Александров.- Севастополь: СВВМИУ, 1978. - С. 9 - 15.
2. ГОСТ 8.497-83. ГСИ. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки.
3. ГОСТ Р 8.648-2015. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерения электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от 0,01 Гц до $2 \cdot 10^{-9}$ Гц.
4. Конспект лекций.

Лабораторная работа № 3

Тема. Внесение поправок в показания средств измерения.

Учебные цели. Приобретение навыков внесения поправок в показания средств измерения.

1. Основные теоретические положения

Если измерения не удастся организовать так, чтобы исключить или скомпенсировать влияющие факторы, то в показания средств измерений вносят поправки.

Пример 1. При измерении ЭДС вольтметром внутреннее сопротивление источника питания R_U обычно не учитывается. Между тем, показание вольтметра U связано с измеряемой ЭДС соотношением

$$U = E \cdot \frac{R_{BX}}{R_{BX} + R_U},$$

где R_{BX} - входное сопротивление вольтметра.

Таким образом, даже при простейшем измерении ЭДС вольтметром, его показание должно умножаться на поправочный множитель $(R_{BX} + R_U)/R_{BX}$ определяемый расчетным путем.

Пример 2. По измеренным значениям электрического тока I , протекающего через сопротивление R_X , и падению напряжения на нем U требуется рассчитать значение этого сопротивления. На рис. (а и б) показаны два возможных варианта включения измерительных приборов. В первом варианте из показания амперметра нужно вычесть ток, протекающий через вольтметр. При большом значении сопротивления R_X , соизмеримом с внутренним сопротивлением вольтметра R_{BX} или даже превышающим его, эта поправка значительна.

Во втором варианте из показания вольтметра нужно вычесть падение напряжения на амперметре. Эта поправка значительна при небольших значениях R_X , меньших внутреннего сопротивления амперметра R_a или соизмеримых с ним. В практике схемы, показанные на рис. (а и б), применяют соответственно при небольших и больших значениях R_X , когда указанными поправками можно пренебречь.

Из рассмотренных примеров видно, что поправки могут быть мультипликативными (так называемые поправочные множители), аддитивными, постоянными, закономерно изменяющимися с течением времени, существенными и несущественными (которыми можно пренебречь). Они могут определяться теоретически и экспериментально, представлять собой отдельные числа и функции (задаваемые таблично, графически или с помощью аналитических выражений).

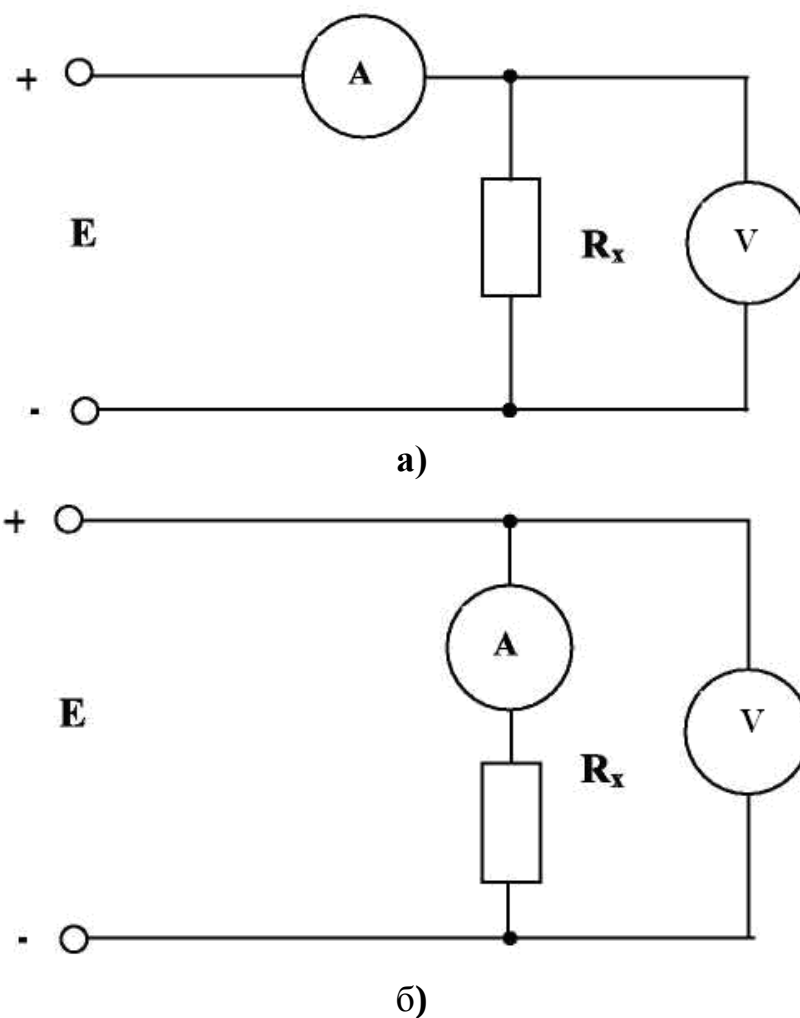


Рис. Функциональные схемы установок

Для примера 2 справедливы соотношения, приведенные ниже. *Значение сопротивления R_x :*

- для схемы а):

$$R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{BX}}}; \quad (1)$$

- для схемы б):

$$R_x = \frac{U - I_x \cdot R_a}{I_x} \approx \frac{U - I \cdot R_a}{I} (\text{при } R_{BX} \rightarrow \infty). \quad (2)$$

Экспериментально определяемое значение сопротивления находится расчетным путем согласно закону Ома:

$$R_{x\text{Э}} = U/I. \quad (3)$$

Таким образом, абсолютные поправки к показанию, определенному согласно (3), для схем (а) и (б) соответственно составляют:

$$\theta_1 = R_X - R_{XЭ} = \frac{U^2 / R_{BX}}{I \cdot \left(I - U / R_{BX} \right)}; \quad (4)$$

$$\theta_2 = -R_a. \quad (5)$$

Поправки алгебраически (с учетом знака) суммируются со значением сопротивления, рассчитанным по выражению (3). Относительная поправка для схемы (а) зависит от соотношения R_{BX} / R_X :

$$\beta_1 = -\theta_1 / R_X = 1 / (R_{BX} / R_X). \quad (6)$$

Относительная поправка для схемы (б) зависит от соотношения R_X / R_a :

$$\beta_2 = -\theta_2 / R_a = -1 / (R_X / R_a). \quad (7)$$

Максимально допустимое абсолютное отклонение показания, определяемого по формуле (3), от измеряемого сопротивления находится по формуле

$$\varepsilon = \pm \delta_R R_{XЭ}, \quad (8)$$

где максимально допустимое относительное отклонение показания от измеряемого сопротивления определяется по формуле

$$\delta_R = \pm \sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2}, \quad (9)$$

где δ_I и δ_U - максимально допустимые относительные отклонения показаний используемых средств измерений от измеряемого тока и напряжения, определяемые с учетом классов точности средств измерений, показаний и выбранных пределов измерений.

С учетом внесенной поправки $\theta_{1(2)}$, классов точности средств измерений и полученных показаний можно определить пределы, в которых находится значение измеряемого сопротивления R по формуле

$$[R_{XЭ} + \theta_{1(2)}] - \varepsilon \leq R \leq [R_{XЭ} + \theta_{1(2)}] + \varepsilon. \quad (10)$$

2. Состав оборудования и подготовка к работе

В работе используются электромеханические средства измерения (миллиамперметр Э533, миллиамперметр М2015), вольтметр Щ301-1,

цифровой мультиметр В7-40, магазин сопротивлений и стабилизированный источник напряжения постоянного тока Б5-45. Подготовка средств измерений к работе осуществляется в соответствии с инструкциями по эксплуатации, имеющимися на рабочем месте.

3. Порядок выполнения работы

3.1. Исследование влияния входного сопротивления R_{BX} на результат измерения сопротивления

1. Собрать лабораторную установку (рис. а), используя вольтметр (Щ301-1) миллиамперметр (Д533).
2. Установить напряжение E , равное 30 В.
3. Установить на магазине сопротивление R_M , равное 0,4 кОм.
4. Снять показания: напряжение U и ток I в цепи, выбрав пределы измерений вольтметра и амперметра U_{np} и I_{np} .
5. Записать в таблице по форме 1 метрологические характеристики (МХ) средств измерений (СИ): классы точности: вольтметра - K_B , амперметра - K_A , а также входное сопротивление вольтметра R_{BX} .
6. Рассчитать $R_{XЭ}$ по формуле (3).
7. Рассчитать абсолютную поправку θ_1 по формуле (4).
8. Рассчитать максимально допустимое отклонение ε_i по формулам (8) и (9).
9. Записать значение измеряемого сопротивления R по формуле (10).
10. Для построения графика рассчитать R_X по формуле (1).
11. Рассчитать отношение R_{BX} / R_X .
12. Рассчитать относительную поправку β_1 по формуле (6).
13. Повторить действия по п.п. 3 - 12 для значений R_M : 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 кОм, указанных в табл. 1.
14. Построить график $\beta_1 = F_1[R_{BX} / R_X]$ и сделать выводы о влиянии R_{BX} на величину поправки.

Таблица 1

E, В	R, кОм	Показания СИ				МХ СИ			Расчет				График		
		Вольт-метр, В		Ампер-метр, А		K _В	K _А	R _{ВХ} , кОм	R _{ХЭ} , кОм	Θ ₁ , кОм	±ε, кОм	R, кОм	R _Х , кОм	R _{ВХ} /R _х	β ₁ %
		U _{пр}	U	I _{пр}	I										
0	0,4														
	0,5														
	0,6														
	0,7														
	0,8														

3.2. Исследование влияния внутреннего сопротивления амперметра R_a на результат измерений сопротивления

1. Собрать лабораторную установку, используя электромеханический миллиамперметр типа М2015 и цифровой вольтметр В7-40.
2. Установить напряжение E , равное 30 В.
3. Установить на магазине сопротивление R_M , равное 0,4 кОм.
4. Измерить напряжение U и ток I в цепи, выбрав пределы измерений приборов: U_{np} и I_{np} .
5. Записать в таблице по форме 2 классы точности средств измерений: вольтметра - K_B , амперметра - K_A , а также внутреннее сопротивление амперметра R_a .
6. Рассчитать $R_{XЭ}$ по формуле (3).
7. Определить абсолютную поправку θ_2 по формуле (5).
8. Рассчитать максимально допустимое отклонение ε по формулам (8) и (9).
9. Записать значение измеренного сопротивления R по формуле (10).
10. Для построения графика рассчитать R_X по формуле (2) (для случая $R_X \rightarrow \infty$).
11. Рассчитать отношение R_X / R_a .
12. Рассчитать относительную поправку β_2 по формуле (7).
13. Повторить действия по пп. 2 - 11 для значений R_M и E , указанных в таблице по форме 2.
14. Построить график $\beta_2 = F[R_X / R_a]$ сделать вывод о влиянии R_a на поправку.

Таблица 2

E, В	R, кОм	Показания СИ				МХ СИ			Расчет				График		
		Вольт-метр, В		Ампер-метр, А		K_B	K_A	R_a , кОм	$R_{XЭ}$, кОм	Θ_1 , кОм	$\pm \varepsilon$, кОм	R , кОм	R_X , кОм	R_X / R_a	β_1 %
		U_{np}	U	I_{np}	I										
30	0,5														
25	0,4														
20	0,3														
15	0,02														
10	0,1														

4. Контрольные вопросы

1. Назовите основные методы измерения сопротивления в цепях постоянного тока.
2. В чем заключается косвенный метод измерения сопротивления и в чем его преимущества (недостатки) по сравнению с другими методами измерения сопротивления?
3. Какие схемы соединения приборов используют при измерении сопротивления косвенным методом?
4. В каком случае используют схему правильного измерения тока (напряжения)?
5. Назовите составляющие погрешности измерения сопротивления методом амперметра и вольтметра.
6. Определите методическую погрешность измерения сопротивления для схемы правильного измерения тока (напряжения).
7. Как определяется измеренное и действительное значение сопротивления для схемы правильного измерения тока (напряжения)?
8. Как определяется абсолютная поправка при измерении сопротивления косвенным методом?
9. Как определяется относительная поправка при измерении сопротивления косвенным методом?
10. Как определяются максимально допустимые относительные отклонения показаний используемых средств измерений от измеряемого тока и напряжения?
11. Напишите формулу, по которой определяется значение измеряемого сопротивления R с учетом поправок.
12. Методика выполнения работы.
13. Анализ полученных результатов.

Литература

1. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: учеб. для вузов / И.Ф. Шишкин. - М.: Изд-во стандартов, 1990. – С. 45 - 50.
2. Электрические измерения / Под ред. В.Н. Малиновского. - М.: Энергоатомиздат, 1982. – 392 с.
3. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения / Ф.В. Кушнир. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 314 с.
4. ГОСТ 8.009.-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

Лабораторная работа № 4

Тема. Изучение электронно-лучевого осциллографа и его применение.

Учебные цели. Изучение устройства и работы осциллографа, знакомство с его техническими характеристиками и приобретение навыков пользования прибором для наблюдения и измерения характеристик электрических сигналов.

1. Основные теоретические положения

1.1. Общие сведения об осциллографах

Осциллограф - это прибор для наблюдения формы сигналов и измерения их амплитудных, фазовых и временных характеристик. Кроме этого, современные *цифровые запоминающие* осциллографы позволяют преобразовывать аналоговые сигналы в цифровую форму, запоминать их в виде файлов, производить над ними некоторые математические операции, а также передавать файлы через интерфейс в другие устройства (например, на компьютер) для последующего хранения и обработки.

О природе исследуемых сигналов. Исследуемые с помощью осциллографа величины могут быть любой природы - ток, магнитное поле, давление, температура, освещенность, перемещение, время и т.д., но для наблюдения с помощью осциллографа они должны быть предварительно преобразованы в электрическое *напряжение*. В этом смысле мы и будем использовать далее термин «сигнал».

Визуальное наблюдение сигнала производится на экране, который представляет собой либо экран электронно-лучевой трубки (электронно-лучевые осциллографы), либо жидкокристаллический дисплей (цифровые запоминающие осциллографы).

Принцип действия и схемотехника *электронно-лучевых* и *цифровых запоминающих* осциллографов различны, но основное назначение - наблюдение формы сигналов и измерение их характеристик - одинаково. Поэтому основные функциональные узлы и их «регулировки» (органы управления) должны быть схожими, что позволяет описать их на одном «языке».

Чтобы научиться работать с осциллографом, нужно:

- во-первых, освоить этот «функциональный язык»;
- во-вторых, уметь найти на управляющей панели осциллографа нужные функциональные узлы (их органы управления);
- в-третьих, уметь установить их в нужный режим работы.

1.2. Принцип получения изображения сигнала на экране

При выборе единого языка описания различных осциллографов мы будем опираться на их основное *функциональное назначение*. Осциллографы предназначены для исследования функциональных зависимостей двух типов:

- во-первых, зависимостей типа $U = F(t)$, т. е. изменения сигнала во времени;
- во-вторых, $U_1 = F(U_2)$, т.е. зависимости одной функции U_1 от другой U_2 , причем обе функции могут являться, в свою очередь, функциями времени $U_{1,2} = F(t)$.

Примеры. 1. К задачам первого типа относится наблюдение формы и измерение *параметров* периодических или одиночных сигналов $U(t)$ (параметры: амплитуда U_a , период T , начальная фаза φ_0 , угол наклона k и т.д.) (рис. 1, а, б).

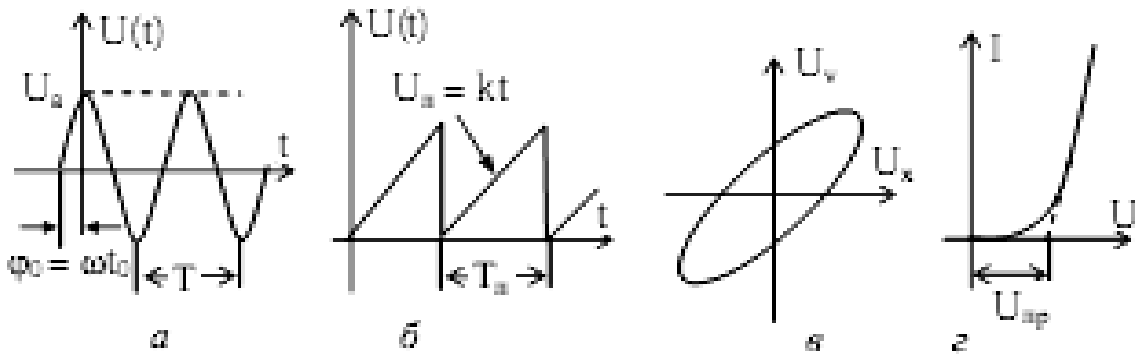


Рис. 1. Типы функциональных зависимостей сигналов:

а - синусоидальный сигнал $U = U_a \sin(\omega t - \varphi_0)$;

б - пилообразное напряжение $U_n = kt$;

в - функциональная зависимость типа фигуры Лиссажу:

$U_1(t) = F[U_2(t)]$; з - функциональная зависимость типа ВАХ: $I = F(U)$

2. К задачам второго типа относятся измерения с помощью фигур Лиссажу (рис. 1, в) и получение вольтамперных характеристик (ВАХ) какого-либо электронного устройства (рис. 1, г).

В первых двух примерах ось X должна быть прокалибрована в единицах времени, а ось Y - в единицах напряжения.

В случае фигуры Лиссажу (см. рис. 1, в) оба сигнала U_x и U_y являются функциями времени (например, сигналами типа $U(t)$, как на рис. 1, а, сдвинутыми относительно друг друга по фазе).

В случае ВАХ (см. рис. 1, г) обе функции U и I в принципе от времени могут не зависеть. В общем случае это есть отображение некоторой «таблицы», состоящей из двух колонок цифровых значений: каждому значению X_k сопоставлено соответствующее Y_k .

1.3. Визуализация сигнала

Сигнал в осциллографе отображается на экране. Но в электронно-лучевых и в цифровых запоминающих осциллографах эта задача решается принципиально различным путем.

В *электронно-лучевых осциллографах* экраном является передняя стенка электронно-лучевой трубки (рис. 2), покрытая с внутренней стороны люминофором.

Электронный луч, создаваемый электронной пушкой и управляемый напряжениями, подаваемыми на две пары пластин - вертикальную Y и горизонтальную X, - перемещается по люминесцентному покрытию ЛС, «вычерчивая» соответствующую кривую (например, фигуру Лиссажу).

Важно иметь в виду, что перемещение луча происходит в реальном времени, т.е. в каждый момент текущего времени его мгновенное положение соответствует именно этому моменту.

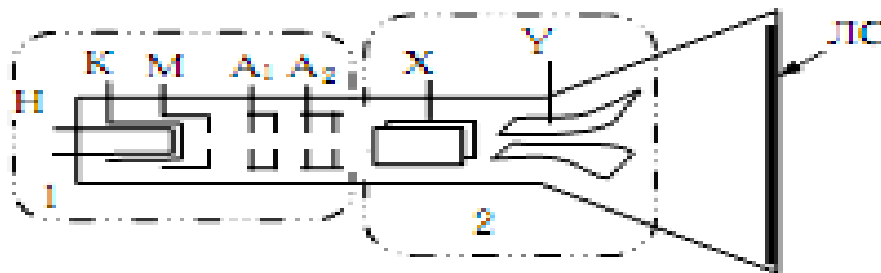


Рис. 2. Электронно-лучевая трубка:

1 - электронная пушка: H – накал; K – катод; M – модулятор;
A₁ A₂ - первый и второй анод; 2 - горизонтально и вертикально отклоняющие пластины X, Y; ЛС - люминесцентный слой

В *цифровых запоминающих осциллографах* сигналы предварительно преобразуются в цифровую форму с помощью АЦП (аналога-цифрового преобразователя), т.е. «превращаются» в таблицу дискретных значений, которая сохраняется в памяти, а уж затем воспроизводится на экране.

Экраном служит обычный дисплей, подобный дисплею компьютера. Поэтому «картинка» воспроизводится на экране в форме видеосигнала.

В обоих типах осциллографов «картинка» может воспроизводиться на экране либо в *непрерывном* режиме, либо в режиме *однократной* развертки. При этом в аналоговых электронно-лучевых осциллографах однократный сигнал виден только за счет послесвечения экрана.

Поэтому его скоростные возможности резко ограничены по сравнению с цифровыми осциллографами с памятью.

1.4. Основные функциональные узлы осциллографа

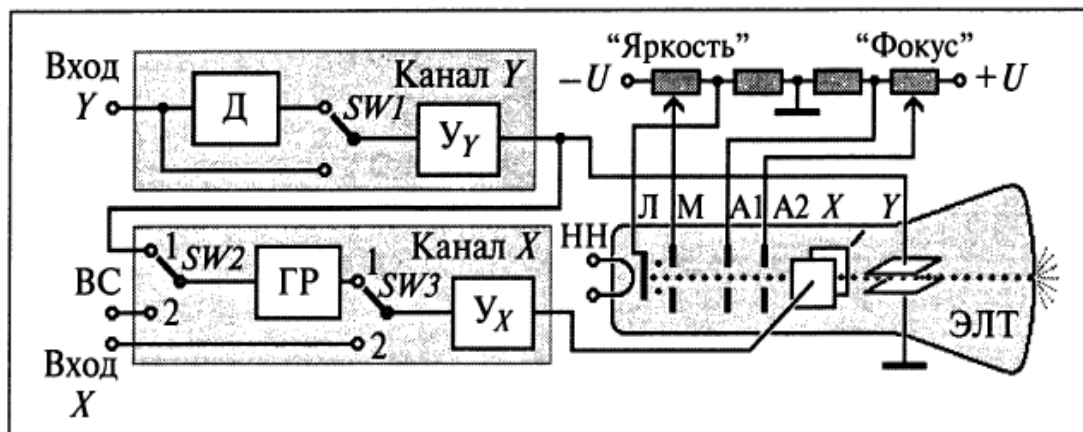


Рис. 3. Общая структурная схема электронно-лучевого осциллографа

Генератор развертки. Для наблюдения на экране осциллографа сигнала $U = F(t)$ перемещение «светящейся точки» по оси Y должен вызывать сам сигнал, и одновременно по оси X должна осуществляться развертка сигнала по времени. Эту функцию выполняет специальное устройство, называемое *генератором развертки*.

Развертка по времени в электронно-лучевом осциллографе осуществляется заданием по оси X (на пластины X) линейно нарастающего напряжения $U_x = kt$, что позволяет «прокалибровать» ось X в единицах времени с характерным масштабом k . Значение масштаба времени k в с/дел (время развертки, приходящееся на одно большое деление шкалы экрана, обычно на 1 см) задается ручкой управления «Развертка» (или "SEC/DIV"). При достижении «светящейся точкой» правого края экрана U_x обнуляется, и точка возвращается в исходное положение к левой границе экрана. Затем процесс повторяется. В этом состоит основная функция генератора развертки.

Дополнительные функции и возможности узла генератора развертки. Кроме основной функции - выдавать периодическое линейно нарастающее напряжение, позволяющее «сканировать» светящуюся точку вдоль оси X от левого края экрана до правого с заданной скоростью (с заданным временем развертки), - данный узел обычно позволяет осуществлять еще следующие режимы работы:

- 1) *режим ждущей развертки.* В этом режиме пилообразное напряжение генерируется не непрерывно, а каждое «сканирование» вдоль экрана (период пилообразного напряжения, см. рис. 1, б) начинается только тогда, когда исследуемый сигнал достигает определенной величины, зафиксированной устройством запуска и синхронизации сигнала (смотри ниже);
- 2) *режим однократной развертки (одиночный запуск).* В этом ре-

жиме генератор развертки генерирует только один период пилообразного напряжения;

3) *режим развертки внешним сигналом (или режим XY)*. В этом режиме генератор развертки отключается, а развертка по оси X осуществляется внешним сигналом.

Основное назначение этого режима - изображение функциональных зависимостей второго типа $U_1 = F(U_2)$ (см. рис. 1, в, г).

Устройство запуска развертки и синхронизации сигнал

Сигналы типа $U = F(t)$ могут быть двух видов: *непрерывные* (периодические или непериодические) и *одиночные*.

Одиночные сигналы длятся в течение определенного отрезка времени Δt , и для их наблюдения достаточно, чтобы время развертки было установлено не меньше чем Δt . Наблюдение таких сигналов осуществляется в режимах *ждущей*, или *однократной* развертки.

Для наблюдения одиночного сигнала необходимо «запустить» развертку в точно заданный момент времени. Это делается особым ***устройством запуска и синхронизации развертки***. Конструктивно и схематически это устройство может быть совмещено либо с блоком развертки, либо с блоком синхронизации, но его органы управления обычно размещены совместно с органами управления *синхронизацией* сигнала.

1) Для наблюдения *одиночного сигнала* нужно:

- выбрать режим развертки - либо «ждущий», либо «однократный запуск»;
- режим синхронизации – «исследуемым сигналом» или «ручная»;
- установить ручкой «уровень» некоторое значение минимального напряжения, при достижении которого сигналом блок синхронизации «запустит» генератор развертки.

2) В случае *непрерывного непериодического* сигнала есть возможность отобразить на экране только какую-то его часть во времени. «Начало» выбранной части сигнала задается в виде определенной величины уровня синхронизации, соответствующей напряжению сигнала в этот момент. То есть *непериодический* сигнал отображается фактически так же, как однократный.

3) Если сигнал *периодический*, то мы можем отобразить, например, несколько его периодов либо только часть периода. Но если время развертки не кратно периоду сигнала, то при каждом последующем сканировании сигнал будет изображаться на новом месте экрана.

При большой частоте развертки сигнал просто «замажет» всю площадь экрана (рис. 4, б). Получить устойчивую картину позволяет ***блок синхронизации*** осциллографа. Его функциональное назначение заключа-

ется в том, чтобы запускать каждый новый период развертки осциллографа точно в тот момент, когда исследуемый сигнал достигает одной и той же величины и фазы периодического сигнала.

Поясним задачи и суть синхронизации. Пусть, например, исследуемое устройство должно генерировать прямоугольные импульсы с периодом T , однако в устройстве возникают какие-то «лишние» импульсы (например, из-за «дребезга» контактов переключающего реле - рис. 4, а).

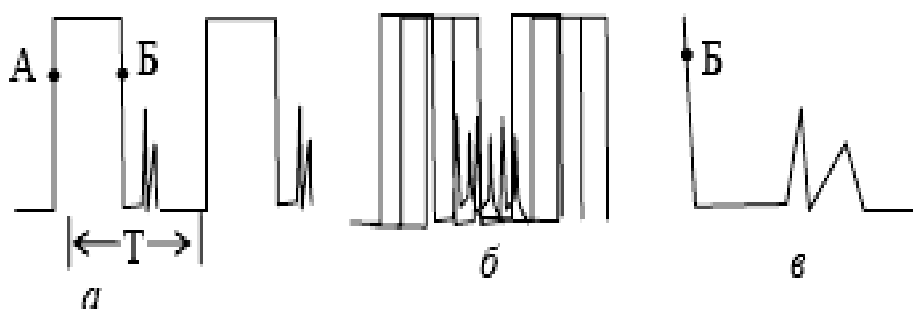


Рис. 4. Синхронизация развертки:

a – синхронизированный сигнал; $б$ – нет синхронизации;
 $в$ – «растяжка» сигнала помехи; A – синхронизация по переднему (нарастающему) фронту; B – синхронизация по заднему (нисходящему) фронту

В отсутствие синхронизации сигнал просто «замазывает» экран (рис. 4, б), поскольку каждый новый цикл развертки начинается с произвольной фазы сигнала. Для устранения этого эффекта нужно установить уровень синхронизации, например, по переднему – нарастающему – фронту (точка А), выбрав эту точку выше уровня «лишних» импульсов. Тогда развертка при каждом сканировании экрана будет запускаться только в момент, когда напряжение сигнала достигает значения в точке А, что и обеспечит устойчивую картину сигнала. Обнаружив на сигнале некоторые «лишние» пики (помехи), мы имеем возможность рассмотреть их более подробно, «растянув» по горизонтали (увеличив скорость развертки). В этом случае выгоднее установить синхронизацию по заднему – нисходящему – фронту импульса (точка Б) и увеличить скорость развертки. На рис. 4, в показан «растянутый» импульс помехи.

Таким образом, синхронизация устанавливается не только по *уровню*, но и по *фронту* сигнала (по нарастающему – точка А – или нисходящему – точка Б – фронту).

Развертка внешним сигналом (режим XY)

Способ отображения функций типа $U_1 = F(U_2)$ (см. рис. 1, б, в) в электронно-лучевых и цифровых запоминающих осциллографах существенно различается.

В электронно-лучевых осциллографах сигнал функции U_2 непосредственно «сканирует» луч вдоль оси X , поступая через усилитель на горизонтально отклоняющие пластины трубки. Для этого генератор развертки отключается, а сигнал U_2 либо подключается к специальному входу «X» (в одноканальных осциллографах), либо один из каналов двухканального осциллографа используется в режиме «вход X» при нажатии специальной кнопки с надписью «XY».

В цифровых запоминающих осциллографах оба сигнала U_1 и U_2 предварительно «оцифровываются» и заносятся в память в виде сигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$, а затем уже второй сигнал $U_2(t)$ используется в качестве сигнала развертки дисплея. Для этого нужно нажать клавишу DISPLAY (Экран) и в функциональном окне Format установить режим «XY». Запись изображения сигнала в режиме «XY» можно передать через интерфейс в двух видах:

- как «фотографию» отображения экрана (без возможности последующей обработки сигнала на компьютере),
- как два независимых сигнала $U_1(t)$ и $U_2(t)$, которые будут доступны дальнейшей самостоятельной обработке на компьютере (в том числе и в виде графиков «XY»).

Блок входного усилителя канала

Осциллографы бывают одно-, двух- и многоканальные в зависимости от того, сколько независимых сигналов они позволяют одновременно наблюдать на экране. Обычно эти каналы идентичны по своим возможностям. Для одновременного размещения на экране изображений по нескольким каналам в осциллографах имеется возможность **смещения изображения** сигнала по вертикали и горизонтали. Обычно органы управления смещением сигнала расположены вблизи ручки переключателя чувствительности соответствующего канала. Диапазон изменения исследуемых сигналов весьма велик – от единиц милливольт до сотен вольт. Поэтому каждый канал имеет свой усилитель, снабженный **переключателем чувствительности** (V/дел, V/DIV), позволяющим установить такую величину усиления, чтобы сигнал занимал необходимую площадь экрана. Положение переключателя чувствительности определяет масштаб изображения и позволяет производить измерение величины сигнала (но только в том случае, если плавный регулятор чувствительности выключен).

Функциональная схема входной части канала изображена на рис. 5. Сигнал с входного разъема поступает на **переключатель режима входа** и далее на **переключатель чувствительности**, выделенные на рисунке пунктиром.

Суммарное сопротивление делителя переключателя чувствительности определяет величину входного сопротивления канала $R_{вх}$.

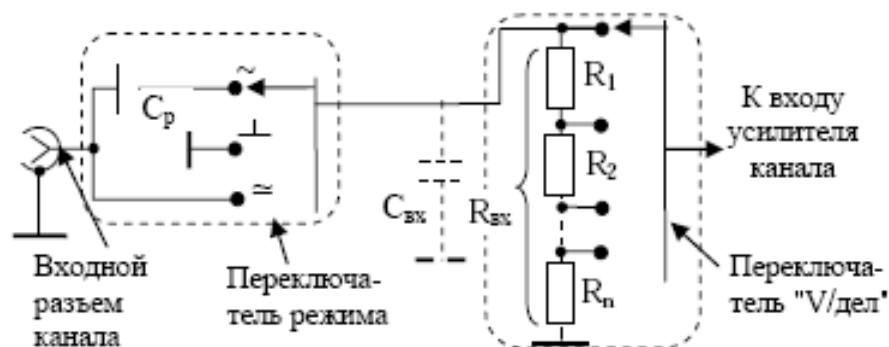


Рис. 5. Эквивалентная схема входа канала:

$\simeq$ – открытый вход; $\sim$ – закрытый вход; $\perp$ – "заземленный" вход;
 $C_{вх}$ – эквивалентная емкость входа;
 $R_{вх}$ – суммарное сопротивление делителя

Очевидно, что величину $R_{вх}$ выгодно иметь как можно больше: чем больше $R_{вх}$, тем меньшее влияние окажет осциллограф на источник сигнала, к которому он подключен. Обычно величина $R_{вх}$ различных осциллографов «стандартизована» и равна 1 МОм.

Пунктиром на рис. 5 изображена эквивалентная емкость входа осциллографа $C_{вх}$, которую выгодно иметь как можно меньше. Однако емкость монтажа и другие технологические емкости не позволяют уменьшить ее «до нуля», а потому ее тоже «стандартизуют», доводя до величины $C_{вх} = 20...30$ пф.

Необходимость переключения режимов входа вызвана тем, что переменные сигналы могут быть «истинно» переменными (когда средняя за период величина сигнала равна нулю рис. 6, а) или иметь наряду с переменной также постоянную составляющую U_0 (рис. 6, б).

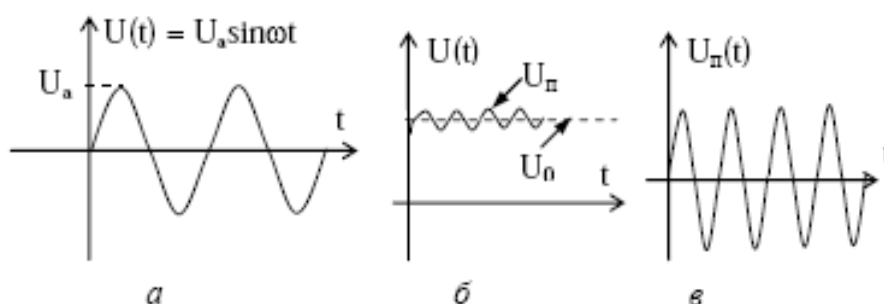


Рис. 6. Режимы входа для сигнала: а – переменный сигнал (режим входа – любой); б – сигнал с постоянной составляющей (открытый вход); в – сигнал при закрытом входе и увеличенной чувствительности канала

Чтобы в последнем случае можно было исследовать весь сигнал $U(t)$ и отдельно его переменную составляющую U_n (с дополнительным усилением), предусмотрено два режима включения канала – режим «открытый

вход» (обозначается символом $\simeq$ или надписью DC) и режим **«закрытый вход»** (обозначается символом $\sim$ или надписью AC). В режиме «открытый вход» сигнал поступает на вход канала непосредственно, а в режиме «закрытый вход» – через разделительный конденсатор C_p , который «отсекает» постоянную составляющую сигнала.

В режиме исследования сигнала с постоянной составляющей важно знать действительное положение уровня нулевого напряжения. Для его определения на переключателе режима входа есть третье положение, обозначаемое обычно символом $\perp$ или надписью **ground**. В этом режиме вход усилителя (но не входной сигнал!) «закорачивается», что позволяет определить расположение линии нулевого уровня сигнала.

Калибратор амплитуды и длительности служит для калибровки коэффициента отклонения каналов I и II тракта вертикального отклонения луча и калибровки длительности развертки. Представляет собой генератор прямоугольных импульсов напряжением 1 В и частотой 1 кГц.

Усилитель Z представляет собой схему формирования импульса гашения луча ЭЛТ при обратном ходе и внешней модуляции.

Блок питания обеспечивает питающим напряжением схему осциллографа.

2. Состав оборудования и подготовка к работе

В работе используются осциллограф универсальный С1-65, генератор сигналов низкочастотный типа ГЗ-102, генератор сигналов ГЗ-118. Подготовка средств измерений к работе осуществляется в соответствии с инструкциями по эксплуатации, имеющимися на рабочем месте.

3. Порядок выполнения работы

Измерения с помощью электронно-лучевого осциллографа

Функциональные узлы осциллографа С1-65А

На рис. 7 приведен вид передней панели осциллографа С1-65А, используемого в работе. Органы управления сгруппированы по функциональным блокам.

Функциональные блоки:

I – блок ЭЛТ (электронно-лучевой трубки) с органами управления лучом;

II – блок входного усилителя (вход Y);

III – блок развертки;

IV – блок синхронизации;

V – калибратор;

VI – сеть.

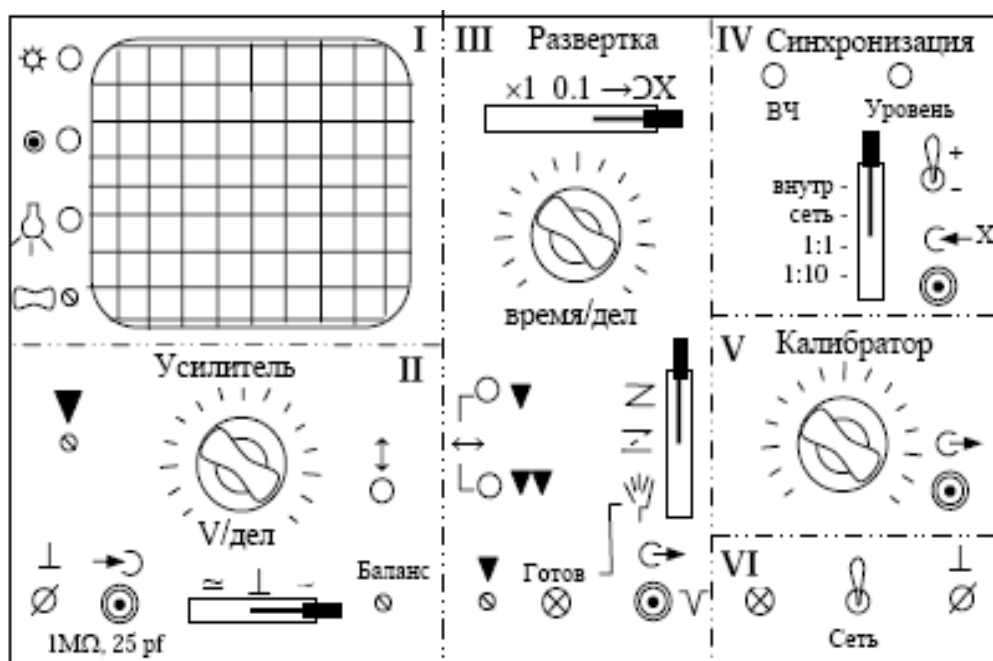


Рис. 7. Панель осциллографа С1-65А

С функциональным назначением узлов необходимо ознакомиться в разделе «Общие сведения об осциллографах». Здесь отметим только назначение органов управления и основные особенности этих блоков, обусловленные применением *электронно-лучевой* трубки и *аналоговой* системы усиления и регистрации сигналов.

Блок I – ЭЛТ (см. рис. 7). Это специфический блок, отсутствующий в цифровых осциллографах, использующих дисплей.

Две верхние ручки управления служат для настройки четкости и яркости луча; третья ручка – для подсветки шкалы (при фотографировании сигнала), нижний регулятор «под шлиц» – для устранения астигматизма изображения.

Блок II – входной усилитель (раздел «Общие сведения об осциллографах»).

1) Регулировка «под шлиц» со значком ▼ служит для подстройки усиления в режиме «калибровка усилителя». Для этого на вход осциллографа подается сигнал известной величины с выхода блока V – «Калибратор».

2) Регулировка «под шлиц» с надписью «баланс» служит для подстройки нуля входного усилителя постоянного тока.

Необходимость этих подстроек связана с особенностями аналоговых усилителей постоянного тока. Инструкцию по настройке можно найти в Техническом описании осциллографа.

3) Регулировка «V/дел» – двойная: внешняя ручка служит для переключения диапазона усиления, внутренняя – для плавной регулировки усиления в пределах выбранного диапазона.

Внимание: цена деления, указанная против соответствующего положения переключателя чувствительности, действительна только в том случае, если внутренняя ручка переключателя повернута по часовой стрелке «до щелчка»!

4) Переключатель « $\simeq \perp \sim$ » (см. рис. 4) служит для установки *режима входа*:

« $\simeq$ » – переменная и постоянная составляющие сигнала;

« $\perp$ » – заземление входа усилителя Y (но не входного сигнала!);

« $\sim$ » – только переменная составляющая сигнала (низкочастотный предел переменной составляющей – 1, 6 Гц).

Блок III – развертки (раздел «Общие сведения об осциллографах»).

1) Верхний переключатель *вида развертки* имеет три положения:

×1 – обычная развертка, соответствующая положению переключателя диапазона «время/дел»;

×0,1 – увеличивает скорость развертки в 10 раз по сравнению с указанной на переключателе диапазона.

Реально увеличивается не скорость развертки, а производится растяжка изображения сигнала в 10 раз. При этом смещением изображения ручками ∇ и $\nabla\nabla$ можно выбрать для растяжки любую часть изображения сигнала, полученного в режиме развертки, указанном переключателем диапазона развертки «время/дел».

→ $\odot$ X – режим «XY»: генератор развертки отключен, внешний сигнал развертки подается на вход X блока синхронизации.

2) Регулировка «время/дел» – двойная: внешняя ручка служит для ступенчатого переключения временного диапазона развертки, внутренняя – для плавной регулировки в пределах выбранного диапазона.

Внимание: цена деления, указанная против соответствующего положения переключателя, действительна только в том случае, если внутренняя ручка переключателя повернута по часовой стрелке «до щелчка»!

3) Ручки регулировки со значками ∇ и $\nabla\nabla$ – плавное и грубое смещение луча по горизонтали.

4) Справа от этих ручек – переключатель *режима развертки*: автоматическая, ждущая и однократный запуск соответственно (сверху вниз). Повторный *однократный* запуск осуществляется после нажатия кнопки «Готов». Свечение лампочки на этой кнопке означает, что осциллограф готов произвести однократную развертку поступающим на вход Y сигналом.

5) Регулировка «под шлиц» используется для точной настройки значений развертки, указанных на переключателе диапазона. Для этого используется сигнал, вырабатываемый блоком «Калибратор».

6) Выходной разъем «C → ∇ » – выход сигнала генератора пилообразного напряжения (может быть использован для вспомогательных целей, не

связанных непосредственно с изображением и измерением параметров сигнала осциллографом).

Блок IV – синхронизации (раздел «Общие сведения об осциллографах»).

1) Две верхние ручки устанавливают уровень синхронизации («ВЧ» – для высокочастотных сигналов с $f \geq 10$ МГц).

2) Верхний переключатель устанавливает источник сигнала синхронизации:

«внутр.» – от исследуемого сигнала (вход Y);

«сеть» – 50 Гц от сети питания осциллографа;

«1:1» и «1:10» – от сигнала, подаваемого на вход X.

Положение «1:1» используется при сигнале синхронизации до 6 вольт, делитель 1:10 – при сигналах до 30 вольт. Если напряжение, подаваемое на вход X, превышает 30 вольт, используют выносной делитель.

3) Переключатель «±» устанавливает полярность сигнала запуска развертки (какой частью сигнала – положительной или отрицательной – осуществляется запуск).

4) Входной разъем «→X» – разъем входа синхроимпульса от внешнего источника. Этот же разъем используется в качестве входа «X» (входа внешней развертки), если верхний переключатель блока развертки стоит в положении «→X».

Блок V – калибратор. Необходимость калибровки связана с особенностями аналоговой схемотехники, в частности, с некоторым изменением параметров схем в результате длительной эксплуатации.

Блок генерирует прямоугольные сигналы фиксированной частоты $f = 1$ кГц с амплитудой калиброванной величины, устанавливаемой переключателем. Сигналы служат для подстройки усиления входного усилителя (блок II) и подстройки времени развертки (блок III) генератора пилообразного напряжения.

Задание 1. Включение осциллографа и настройка изображения

Цель: получить изображение луча и настроить его яркость и четкость (фокусировку).

Цифровые осциллографы с дисплеем не нуждаются в этих настройках.

1) Включите сетевой тумблер и установите следующие положения ручек осциллографа:

- **блок развертки:** верхний переключатель развертки – в положение $\times 1$; переключатель длительности 0,1 мс/дел, режим развертки «автоматический»;

- **блок синхронизации:** синхронизация «внутр.», «уровень» – по часовой стрелке;

• блок входного усилителя: чувствительность – 0,1 В/дел.; режим входа "⊥".

2) На экране должна наблюдаться линия развертки. Если ее нет, увеличьте до предела яркость луча и фокусировку (блок ЭЛТ) и ручками смещения луча $\updownarrow$ и $\leftrightarrow$ выведите луч в середину экрана. После этого ручками «яркость» и «четкость» отрегулируйте луч.

Задание 2. Знакомство с генератором ГЗ-102

Цель: познакомиться с основными функциями и возможностями генератора ГЗ-102, используя осциллограф для наблюдения сигналов.

Генератор сигналов низкочастотный типа ГЗ-102 представляет собой источник синусоидальных электрических колебаний звуковой и ультразвуковой частоты с малым коэффициентом гармоник.

Ниже приведены основные функции и органы их управления, размещенные на передней панели. Для их освоения подключите выход генератора «ВЫХОД» к входу осциллографа, включите генератор и осциллограф и проверьте действие ручек управления функциями генератора.

Генератор выполнен в виде настольного переносного прибора в корпусе бескаркасной конструкции. В левой части передней панели находятся: шкала установки частоты, переключатель поддиапазонов «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ». В правой части передней панели расположены: ручка регулировки выходного напряжения «РЕГ. ВЫХ», индикатор опорного напряжения, аттенуатор на 60 дБ «ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ», тумблер включения сети «СЕТЬ ВКЛ.», переключатель внутренней нагрузки «600 Ω » и гнездо выхода «ВЫХОД».

Все основные органы управления вынесены на переднюю панель.

На передней панели расположены:

а) ручка для плавной установки частоты в пределах каждого поддиапазона;

б) переключатель «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» - для переключения поддиапазонов;

в) ручка «РЕГ. ВЫХ.» - для плавной установки уровня выходного сигнала на гнезде «ВЫХОД»;

г) ручка «ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ» - для ступенчатой регулировки выходного сигнала на гнезде «ВЫХОД»;

д) тумблер «600 Ω » - для включения внутренней нагрузки при работе на внешнюю нагрузку с высоким входным сопротивлением;

е) тумблер «СЕТЬ ВКЛ.» — для включения генератора.

Подготовка к работе

Исходное положение органов до включения генератора в сеть:

а) тумблер «СЕТЬ ВКЛ.» - выключен (находится в нижнем положении);

- б) переключатель «ПРЕДЕЛЫ ШКАЛЫ» - в положении «10 V»;
- в) тумблер включения внутренней нагрузки - в положении «600 Ω »;
- г) ручка «РЕГ. ВЫХ.» - в среднем положении;
- д) переключатель «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» и ручка установки частоты - в любом положении.

Включите вилку шнура в сеть переменного тока частотой 50 Гц напряжением 220 В, поставьте тумблер включения сети в положение «СЕТЬ ВКЛ.», при этом должна загореться сигнальная лампа. Сигнал с выхода генератора при помощи кабеля подайте на осциллограф.

Проведение измерений

С помощью ручки плавной установки частоты и переключателя «МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ» установите необходимую частоту выходного сигнала.

Регулировка амплитуды выходного напряжения осуществляется плавно с помощью потенциометра «РЕГ. ВЫХ.» и ступенями с помощью аттенюатора 0 - 60 дБ и внешнего аттенюатора на 40 дБ.

Задание 3. Освоение основных настроек осциллографа

Цель: освоить основные настройки для получения изображения исследуемого сигнала и научиться измерять его амплитуду и частоту.

1) Подключите выход генератора ГЗ-102 к входу осциллографа. Установите на генераторе синусоидальный сигнал с частотой $f = 1$ кГц при среднем положении ручки регулировки амплитуды.

Ручками усилителя Y «V/дел» и генератора развертки «время/дел» отрегулируйте изображение так, чтобы оно занимало по высоте примерно половину экрана.

2) Если изображение неустойчиво, то необходимо отрегулировать установку **синхронизации**. Проверьте устойчивость синхронизации при различной частоте и амплитуде сигнала генератора и при различном положении ручек управления синхронизации «ВЧ» и «уровень». Пронаблюдайте работу осциллографа при различных режимах запуска осциллографа – автоматическом, ждущем и однократном (блок развертки).

3) Освойте процедуру измерения амплитуды и частоты сигнала. Обратите внимание на то, что амплитуда равна половине двойного размаха синусоидального сигнала, а его частота $f = 1/T$, где T – период, измеренный на осциллографе. При измерениях не забывайте устанавливать ручки плавных регулировок «V/дел» и «время/дел» в положение «до щелчка».

4) Используя блок V (*калибратор*), проверьте точность установки усиления и величины длительности регулировок «V/дел» и «время/дел» в

использованных вами положениях переключателей. Для этого соедините выход калибратора «С→» с входом осциллографа.

Внимание: подстройку усиления и времени развертки соответствующими регуляторами «под шлиц» блоков усилителя и генератора развертки можно производить только с разрешения преподавателя.

4. Контрольные вопросы

1. Назовите область применения осциллографа.
2. Классификация осциллографов.
3. Назовите основные элементы оптической и механической части светолучевого осциллографа.
4. Назовите основные блоки и элементы электронно-лучевого осциллографа.
5. Объясните принцип работы электронно-лучевого осциллографа.
6. Назначение и основные элементы электронно-лучевой трубки.
7. Назначения и основные элементы канала вертикального отклонения.
8. Назначение и основные элементы канала горизонтального отклонения.
9. Назначения и основные элементы канала управления яркостью электронного луча.
10. Назовите основные режимы работы осциллографа.
11. Запишите основные технические характеристики осциллографа.
12. Назовите погрешности осциллографических измерений.
13. Объясните принцип получения фигур Лиссажу.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Моряков В.Е. Основы метрологии и электрические измерения / В.Е. Моряков, С.Б. Смирнов. - Севастополь: СВВМИУ, 1991.
3. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е.М. Душина. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Евтихий Н.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин / Н.Н. Евтихий и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990.

Лабораторная работа № 5

Тема. Измерение параметров электрического сигнала с помощью электронно-лучевого осциллографа.

Учебные цели. Изучение устройства и работы осциллографа, знакомство с его техническими характеристиками и приобретение навыков пользования прибором для наблюдения и измерения характеристик электрических сигналов.

1. Основные теоретические положения

1.1. Измерения с использованием осциллограммы

Электронно-лучевой осциллограф является универсальным измерительным прибором широкого назначения, позволяющим визуально наблюдать и фиксировать случайные, одиночные непериодические и периодические электрические процессы в диапазоне частот от нуля (постоянный ток) до единиц гигагерц. Помимо качественной оценки исследуемых процессов осциллограф позволяет измерить:

- амплитуду и мгновенное значение тока и напряжения;
- временные параметры сигнала (скважность, частота, длительность фронта, фаза и т.д.);
- сдвиг фаз, частоту гармонических сигналов (метод фигур Лиссажу и круговой развертки);
- амплитудно-частотные и фазовые характеристики и т.д.

Основное достоинство осциллографического метода измерения – наглядность.

Осциллограф может быть использован как составная часть более сложной измерительной аппаратуры, например, в мостовых схемах в качестве нуль-органа, в измерителях частотных характеристик и т.д.

Исследуемый процесс отображается на экране осциллографа в виде светящейся линии или фигуры, называемых *осциллограммами*.

Осциллограмма представляет собой функциональную зависимость двух или трех величин.

Для получения осциллограммы исследуемого сигнала необходимо управлять движением электронного пучка на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) в горизонтальном и вертикальном направлениях. Под действием сигнала, который подается на канал вертикального отклонения «Y», электронный луч движется в вертикальном направлении. При линейной развертке горизонтального отклонения генератор развертки вырабатывает пилообразное напряжение. Под действием генератора линейной развертки луч движется в горизонтальном направлении.

При одновременном действии сигнала на «Y» пластины и генератора развертки на «X» пластины луч движется по сложной траектории, описывая на экране (ЭЛТ) форму сигнала. Для того чтобы изображение сигнала на экране было неподвижным, необходимо, чтобы соблюдалось равенство:

$$T_p = kT_c \quad (1)$$

где T_p - период пилообразного напряжения генератора развертки;

T_c - период сигнала;

k – число, показывающее, сколько периодов сигнала укладывается в периоде развертки.

При линейной развертке на экране ЭЛТ получаем изображение сигнала как функцию времени.

При определении различных параметров сигнала (частоты, фазы) используется синусоидальная развертка. Для ее получения в осциллографе нужно отключить генератор развертки и на вход «X» подать синусоидальное напряжение. На экране получим фигуру Лиссажу.

Если известна частота сигнала, поданного на вход «Y», то можно определить частоту сигнала, поданного на вход «X», и, наоборот, по формуле

$$f_x n_x = f_y n_y, \quad (2)$$

где f_x, f_y - частоты сигналов, поданных соответственно на входы «X» и «Y»;

n_y, n_x - количество точек пересечения фигуры Лиссажу осями X и Y.

Если на входы «X» и «Y» подать сигналы равных частот, то в зависимости от сдвига фаз между сигналами на экране ЭЛТ получим частный случай фигуры Лиссажу: эллипс, круг, наклонная прямая. При равных частотах и сдвиге фаз, равном 90° , на экране будет круг. Круговую развертку часто используют для измерения частоты сигнала. Меньшую по величине частоту f_x подают на вход «Y» и со сдвигом в 90° на вход «X». Большую по величине частоту подают на вход «Z» (модулятор яркости). На экране получится круг в виде яркостных меток. Измеряемую частоту можно рассчитать по формуле

$$f_x = f_z / N, \quad (3)$$

где N - количество яркостных меток.

1.2. Измерение напряжения и тока

Из принципа действия электронно-лучевой трубки следует, что осциллограф является прибором, реагирующим на изменение напряжения. Следовательно, любые физические величины, которые можно преобразовать в соответствующие изменения напряжения, могут быть исследованы с помо-

щью осциллографа. Прибор может быть использован для непосредственного измерения напряжения и косвенного измерения тока по падению напряжения на резисторе с известным сопротивлением.

При использовании осциллографа в качестве *амплитудного вольтметра* измеряемое переменное напряжение подается на вход канала Y обычно при отключенном генераторе развертки. Электронный луч при этом будет прочерчивать на экране вертикальную прямую линию, длина которой при синусоидальном измеряемом напряжении будет пропорциональна его удвоенной амплитуде: $l_y = S_U 2U_m$. Зная чувствительность S_U или коэффициент отклонения луча k_0 , можно найти

$$U_m = \frac{l_y}{2} k_0 = \frac{l_y}{2S_U}. \quad (4)$$

Значение величины S_U или k_0 может быть определено по положению рукоятки «Чувствительность» осциллографа или путем предварительной калибровки с помощью калибратора амплитуды. При необходимости оценить форму исследуемого напряжения включается генератор развертки.

Указанным образом можно измерять только симметричное напряжение переменного тока или же напряжение постоянного тока. Если, как это в большинстве случаев бывает, нет уверенности в том, что амплитуды положительной и отрицательной полуволн равны, измерение можно произвести следующим путем. Зафиксировав с помощью масштабной сетки начальное положение светящегося пятна (например, в центре экрана), надо измерить отклонение луча в обе стороны от этого положения. Аналогичный результат можно получить, если подать на вторую пару пластин напряжение развертки и, установив неподвижное изображение, измерить амплитуду каждой полуволны в отдельности.

Большое входное сопротивление осциллографа позволяет измерять напряжение источников, обладающих высоким внутренним сопротивлением. В случае же быстроменяющихся процессов основным фактором, ограничивающим применение осциллографа, является собственная емкость отклоняющих пластин и подводящих проводов или входная емкость усилителя, если испытуемое напряжение подается через усилитель. В этом случае постоянная времени входной цепи осциллографа с учетом сопротивления участка схемы, с которого снимается измеряемое напряжение, должна быть существенно меньше длительности импульса или периода изменения исследуемого процесса.

При косвенном измерении высокочастотных токов с помощью осциллографа следует учитывать влияние индуктивности резистора (шунта), на котором создается измеряемое падение напряжения. Точность измерения напряжений и токов с помощью осциллографа невелика (погрешность

обычно 5...10 %), что объясняется влиянием нестабильности коэффициента усиления УВО и нелинейностью его амплитудной характеристики, ограниченной точностью калибровки чувствительности, конечными размерами пятна на экране, изменением чувствительности трубки.

Однако часто осциллограф является единственным прибором, с помощью которого возможно измерить напряжение (ток). Это относится к тем случаям, когда, например, необходимо измерить мгновенное значение напряжения, оценить максимальное напряжение переднего и заднего фронта импульса и т.п.

1.3. Измерение частоты и фазы

Измерения частоты и фазы электрических колебаний при помощи осциллографа широко распространены. Измерение частоты в общем случае производится путем сравнения исследуемых колебаний с колебаниями известной частоты. Весьма удобным приемом является одновременная фиксация на экране дуолучевого осциллографа (или одлучевого - с помощью электронного переключателя) двух колебаний, частота одного из которых заранее известна.

Аналогичные результаты могут быть получены сравнением периода напряжения измеряемой частоты с периодом развертки или наложением на осциллограмму меток времени с использованием калибратора длительности. Основным преимуществом этих способов измерения частоты является возможность исследования колебаний любой формы, недостатком - невысокая точность.

Более точные результаты могут быть получены при сравнении двух колебаний синусоидальной формы методом фигур Лиссажу.

Подавая на одну из пар пластин синусоидальное напряжение определенной частоты, а на другую - исследуемое напряжение, можно в ряде случаев по виду фигуры Лиссажу судить о частоте или сдвиге фазы неизвестного напряжения. На рис. 1 показаны фигуры Лиссажу для нескольких простых случаев соотношения частот и углов сдвига фаз.

Определение частоты этим способом основано на том, что любая фигура Лиссажу вписывается в прямоугольник, стороны которого соответственно равны удвоенным амплитудам складываемых колебаний.

Отношение числа касаний неподвижной фигуры на экране с одной из вертикальных сторон прямоугольника n к числу касаний той же фигуры с одной из горизонтальных его сторон m характеризует кратность частот сравниваемых колебаний.

Если напряжение измеряемой частоты f_x подано на вход Y осциллографа, а напряжение известной частоты f_0 - на вход X , получим соотношение $f_x/f_0 = m/n$, из которого может быть определена частота f_x . Обычно

стремятся производить сравнение частот, подбирая частоту образцового генератора равной частоте измеряемых колебаний, так как при этом фигура имеет простейший вид - круг, эллипс, прямая (см. рис. 1).

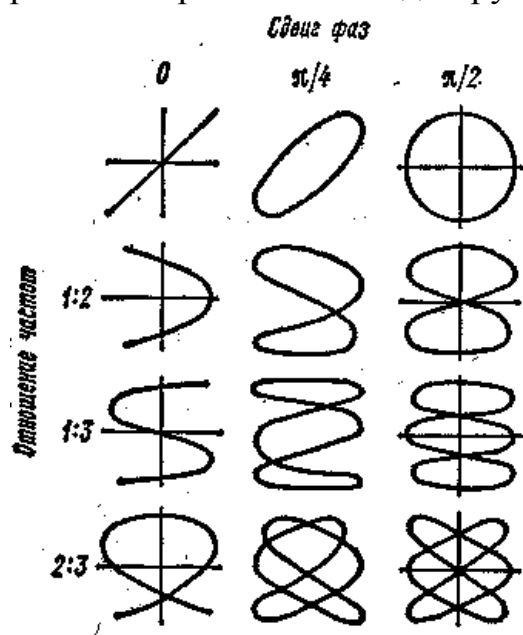


Рис. 1. Фигуры Лиссажу

Этот метод, дающий высокую точность, определяемую точностью генератора известной частоты, целесообразно применять только при относительно небольшой кратности измеряемой и известной частот, обычно не превышающей 6 - 8.

Если же сравниваемые частоты различаются значительно, то фигуры Лиссажу становятся запутанными и поддаются расшифровке с большим трудом. Поэтому в подобных случаях предпочтительнее пользоваться круговой разверткой.

В этом случае одно из напряжений с более низкой (известной) частотой через фазосдвигающую цепь подается на входы X и Y осциллографа. Напряжение более высокой частоты (неизвестной) подво-

дится к модулирующему яркость электроду (канал Z). Изображение окружности на экране в этом случае получается пунктирным. По числу светящихся штрихов на окружности судят о соотношении сравниваемых частот.

Определить фазовые сдвиги между двумя напряжениями можно, путем одновременного наблюдения двух кривых на экране осциллографа. Кроме того, сдвиг фаз может быть измерен и при помощи фигур Лиссажу. На рис. 2 показаны фигуры Лиссажу, получающиеся при подаче на пластины осциллографа двух синусоидальных колебаний одинаковой частоты и амплитуды, но отличающихся по фазе. Если на полученной осциллограмме построить оси, как это показано на рис. 2, то искомый фазовый сдвиг

$$\varphi = \arcsin(B/A).$$

Оси осциллограммы удобнее всего построить, снимая поочередно напряжения с каждой пары отклоняющих пластин. Получающиеся при этом прямые линии и будут осями осциллограммы.

Более высокую точность измерения можно получить, включая регулируемое фазовращающее устройство последовательно в цепь одной пары отклоняющих пластин. Фазовый сдвиг регулируется до тех пор, пока эллипс на экране осциллографа не превратится в прямую линию. Измеряе-

мая разность фаз в этом случае отсчитывается непосредственно по шкале фазовращателя.

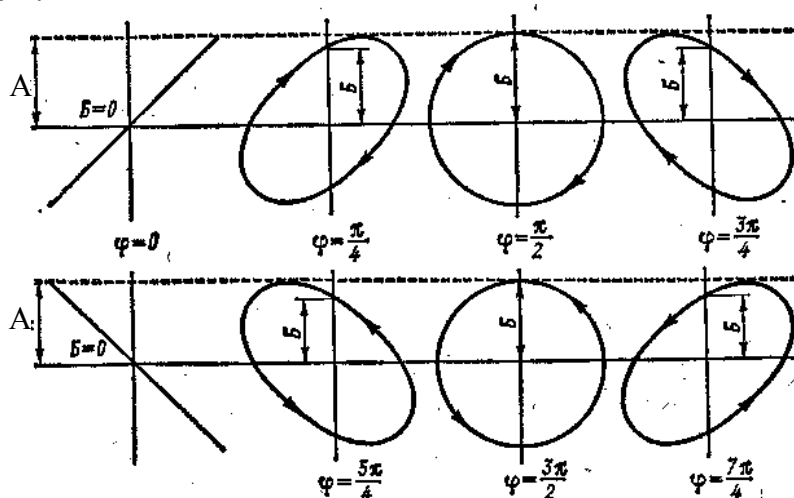


Рис. 2. Фигуры Лиссажу, используемые для измерения фазовых сдвигов

Фазовый сдвиг можно определить также и при помощи круговой развертки. Один из способов измерения заключается в следующем. Одно из напряжений используется для получения круговой развертки. Затем оба напряжения с помощью формирующего устройства преобразуются в серию кратковременных импульсов (соответствующих обычно моменту перехода кривых через нуль в положительном направлении). Эти импульсы подаются на модулирующий электрод трубки, образуя на осциллограмме затемненные метки, расстояние между которыми соответствует искомой разности фаз.

2. Состав оборудования и подготовка к работе

В работе используются осциллограф универсальный С1-65, генератор сигналов низкочастотный типа ГЗ-102, генератор сигналов ГЗ-118. Подготовка средств измерений к работе осуществляется в соответствии с инструкциями по эксплуатации, имеющимися на рабочем месте.

3. Порядок выполнения работы

Измерения с помощью электронно-лучевого осциллографа

Задание 1. Измерение переменного напряжения

Для измерения переменного напряжения выполните следующие операции:

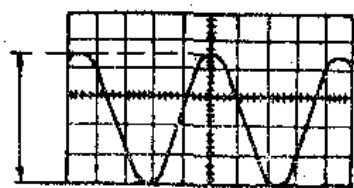
- подайте сигнал на гнездо $\ominus$ усилителя Y;
- установите переключатель V/ДЕЛ так, чтобы сигнал на экране ЭЛТ занимал около 7 делений;
- установите тумблер $\approx \sim$ в положение $\sim$;

Примечание. Для низкочастотных сигналов менее 16 Гц используйте положение $\approx$
г) установите ручкой УРОВЕНЬ устойчивое изображение.

Установите переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ. в положение, при котором на экране наблюдается несколько периодов исследуемого сигнала;

д) установите ручку $\updownarrow$ так, чтобы нижний уровень сигнала совпадал с одной из нижних линий сетки, а верхний уровень находился в пределах рабочей части экрана. Сместите ручкой $\leftrightarrow$ изображение таким образом, чтобы верхний уровень сигнала находился на центральной вертикальной линии (рис. 3);

Максимум расположен на градуированной вертикали



вертикальное
отклонение

Рис. 3. Измерение
полного размаха
сигнала

е) зарисуйте полученную осциллограмму;

ж) измерьте расстояние в делениях между крайними точками размаха сигнала. Ручка ПЛАВНО должна быть установлена в положение $\blacktriangledown$.

з) умножьте расстояние, измеренное в п. е), на показание переключателя V/ДЕЛ.

Примечание. Этот метод может быть использован для измерения напряжения между двумя любыми точками сигнала, а не только между пиками.

Пример. Предположим, что размах сигнала по вертикали составляет 4,8 деления с использованием делителя 1 : 10 и установкой переключателя V/ДЕЛ. на 0,5.

Размах сигнала в вольтах будет:

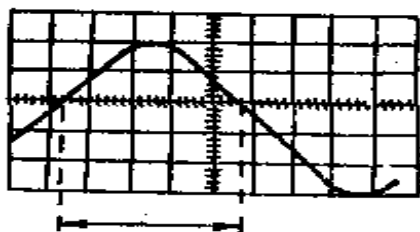
$$4,8 \text{ деления} \times 0,5 \text{ В/ деление} \times 10 = 24 \text{ В.}$$

Задание 2. Измерение временных интервалов

Для измерения *длительности сигнала* между двумя его точками проведите следующие операции:

а) подайте сигнал на гнездо $\oplus$ усилителя Y;

б) установите переключатель V/ДЕЛ. в такое положение, чтобы изображение на экране составило около 5 делений;



расстояние по горизонтали

Рис. 4. Измерение временных
интервалов

в) ручкой УРОВЕНЬ установите устойчивое изображение;

г) установите переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ. на наибольшую скорость развертки, при которой расстояние между двумя измеряемыми точками будет меньше 8 делений, т.к. возможна нелинейность

изображения в первом и последнем делениях шкалы.

д) ручкой $\updownarrow$ переместите изображение таким образом, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились на горизонтальной центральной линии;

е) ручкой $\leftrightarrow$ установите изображение так, чтобы точки, между которыми измеряется время, находились в пределах восьми центральных делений сетки;

ж) зарисуйте полученную осциллограмму;

з) измерьте горизонтальное расстояние между измеряемыми точками. Ручка ПЛАВНО переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ. должна быть установлена в положение $\blacktriangledown 1$;

и) умножьте расстояние, измеренное в п. ж, на показание переключателя ВРЕМЯ/ДЕЛ. Если используется умножение развертки, результат умножьте на 0,1.

Пример. Допустим, что расстояние между измеряемыми точками составляет 5 делений, а переключатель ВРЕМЯ/ДЕЛ. установлен на 0,1 мс, растяжка ($\times 0,1$) не применяется.

$$\text{Длительность } T = 5 \text{ дел.} \times 0,1 \text{ мс/дел.} = 0,5 \text{ мс.}$$

Задание 3. Измерение частоты

Частоту периодических сигналов можно измерить следующим образом:

в) измерьте длительность одного периода сигнала;

б) частота сигнала является величиной обратной длительности одного периода.

Пример. Частота сигнала, показанного на рис. 3 с длительностью периода 0,5 мс, будет равна:

$$f_c(\text{Гц}) = 1/T(\text{с}); \quad f_c = 1/0,5\text{мс} = 2 \text{ кГц.}$$

Задание 4. Измерение фазы с помощью фигуры Лиссажу

а) На вход Y и X осциллографа подайте от генераторов синусоидальные сигналы одинаковой частоты и амплитуды, но отличающихся по фазе. Тогда на экране осциллографа в общем случае получится эллипс (рис. 5).

б) Поставьте переключатель вида синхронизации в положение « $\ominus X$ »

в) Ручкой и переключателем «V/ДЕЛ» установите изображение фигуры Лиссажу в

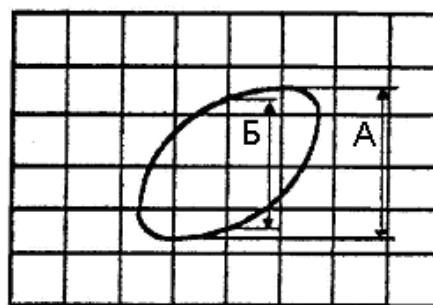


Рис. 5 Измерение фазы с помощью фигуры Лиссажу

пределах экрана.

г) Ручками « $\updownarrow$ » и « $\leftrightarrow$ » установить это изображение в центр экрана.

д) Измерьте расстояние А и Б, как показано на рис. 5, где величина Б представляет собой расстояние между точками пересечения кривой с вертикальной центральной линией экрана, а расстояние А - максимальное отклонения по вертикали.

е) Вычислите фазовый сдвиг по формуле $\varphi = -\arcsin(B/A)$ – для осциллограммы, изображенной на рис. 5, и по формуле $\varphi = -\pi + \arcsin(A/B)$ - при смене наклона фигуры Лиссажу на противоположный.

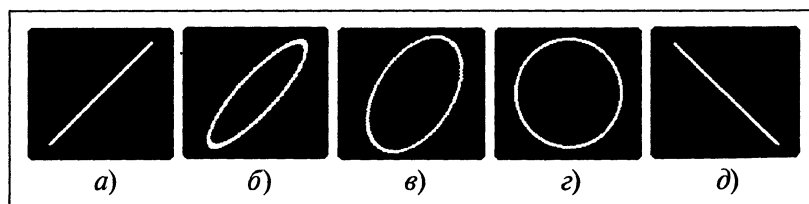


Рис. 6. Изображения на экране в методе эллипса при различных сдвигах фаз:

а - 0° ; б - 30° ; в - 60° ; г - 90° ; д - 180°

Задание 5. Измерение частоты с помощью фигуры Лиссажу

а) На вход Y (или X) подайте сигнал неизвестной частоты, а на другой вход - сигнал от генератора с известной регулируемой частотой. Изменяя частоту известного генератора, добейтесь получения на экране одной из неподвижной фигуры Лиссажу и по ее виду можно определить частоту (рис. 7).

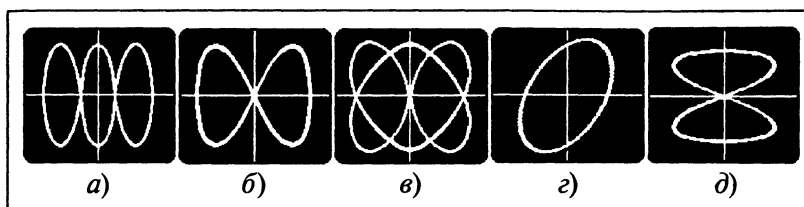


Рис. 7. Фигуры Лиссажу при различных соотношениях

частот f_y/f_x : а - 3; б - 2; в - $3/2$; г - 1; д - $1/2$

б) определите число точек пересечения полученной фигуры горизонтальной и вертикальной линиями (рис. 9, а). Для получения правильного результата линии должны проходить таким образом, чтобы число точек пересечения обеими линиями было максимальным.

в) отсчитайте значение установленной частоты сигнала генератора. Отношение частот f_y/f_x равно отношению числа точек пересечения по горизонтали N_H и по вертикали N_B : $f_y/f_x = N_H/N_B$.

Примечание. Можно использовать и касательные к фигуре линии (см. рис. 9, б) и тогда нужно использовать аналогичное соотношение точек касания горизонтальной и вертикальной касательных.

Φ_y/Φ_x	0	$\pi/4$	$\pi/2$	$3/4\pi$	π
ω_y/ω_x					
1/1					
1/2					

Рис. 8. Фигуры Лиссажу при $\omega_x = n \omega_y$

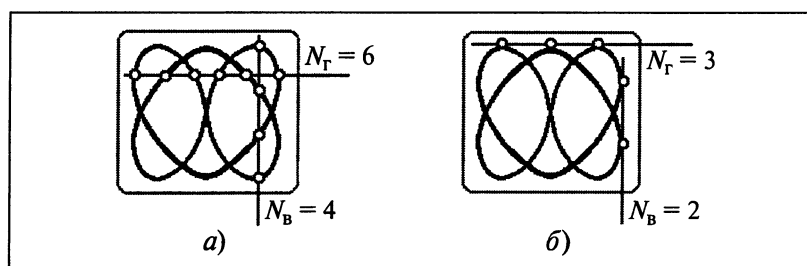


Рис. 9. Определение точек пересечения или касания

4. Контрольные вопросы

1. Объясните метод измерений временного сдвига между сигналами синусоидальной формы с помощью фигур Лиссажу.
2. Объясните метод измерений частоты с помощью фигур Лиссажу.
3. Объясните метод измерений фазового сдвига с помощью фигур Лиссажу
4. Измерение переменного напряжения.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Моряков В.Е. Основы метрологии и электрические измерения / В.Е. Моряков, С.Б. Смирнов. - Севастополь: СВВМИУ, 1991.
3. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е.М. Душина. - Л.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Евтихийев Н.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин/ Н.Н. Евтихийев и др. - М.: Энергоатомиздат, 1990.

Лабораторная работа № 6

Тема. Контроль метрологических характеристик технических манометров.

Учебные цели. 1. Закрепление и углубление знаний по устройству и правилам эксплуатации средств измерения давления, их поверке или калибровке.

2. Привитие навыков работы на поверочных (калибровочных) установках.

1. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с элементами лабораторной установки, записать их номинальные данные и основные метрологические характеристики.

2. Изучить схему рабочего места по калибровке технических манометров и принцип работы грузопоршневого вакуумметра МВП-2,5.

3. Изучить порядок подготовки рабочего места к калибровке и порядок проведения калибровки.

4. Выполнить калибровку технического манометра методом сличения с образцовым.

5. Рассчитать метрологические характеристики контролируемых приборов.

6. Предъявить записи с полученными результатами преподавателю и по его указанию в случае необходимости повторить измерительные опыты.

7. Оформить отчет по лабораторной работе и сдать его преподавателю в указанные сроки.

Схема лабораторной установки и применяемые в ней приборы и оборудование

Схема грузопоршневого мановакуумметра, с помощью которого выполняется поверка технического манометра, показана на рис. 1.

Мановакуумметр состоит из двух, соединенных между собой грузоприемных устройств с простым поршнем 12 и дифференциальным поршнем 13, сильфонного пресса 17, воронки 16 и разделительного сосуда 18, сообщаемого с пространством, в котором создается измеряемое давление или разрежение.

Поршни перемещаются в цилиндрах с зазором не более 0,004 мм. Для уменьшения сухого трения при перемещении, поршни вращаются в масле с угловой скоростью не менее 3 рад/с (30 об/мин).

Масса грузопоршневых устройств подогнана так, что при отсутствии давления в разделительном сосуде 18 оба устройства могут быть выстав-

лены в положение, при котором риски на устройствах и указателях 14 находятся в одной горизонтальной плоскости (в дальнейшем по тексту в исходное положение).

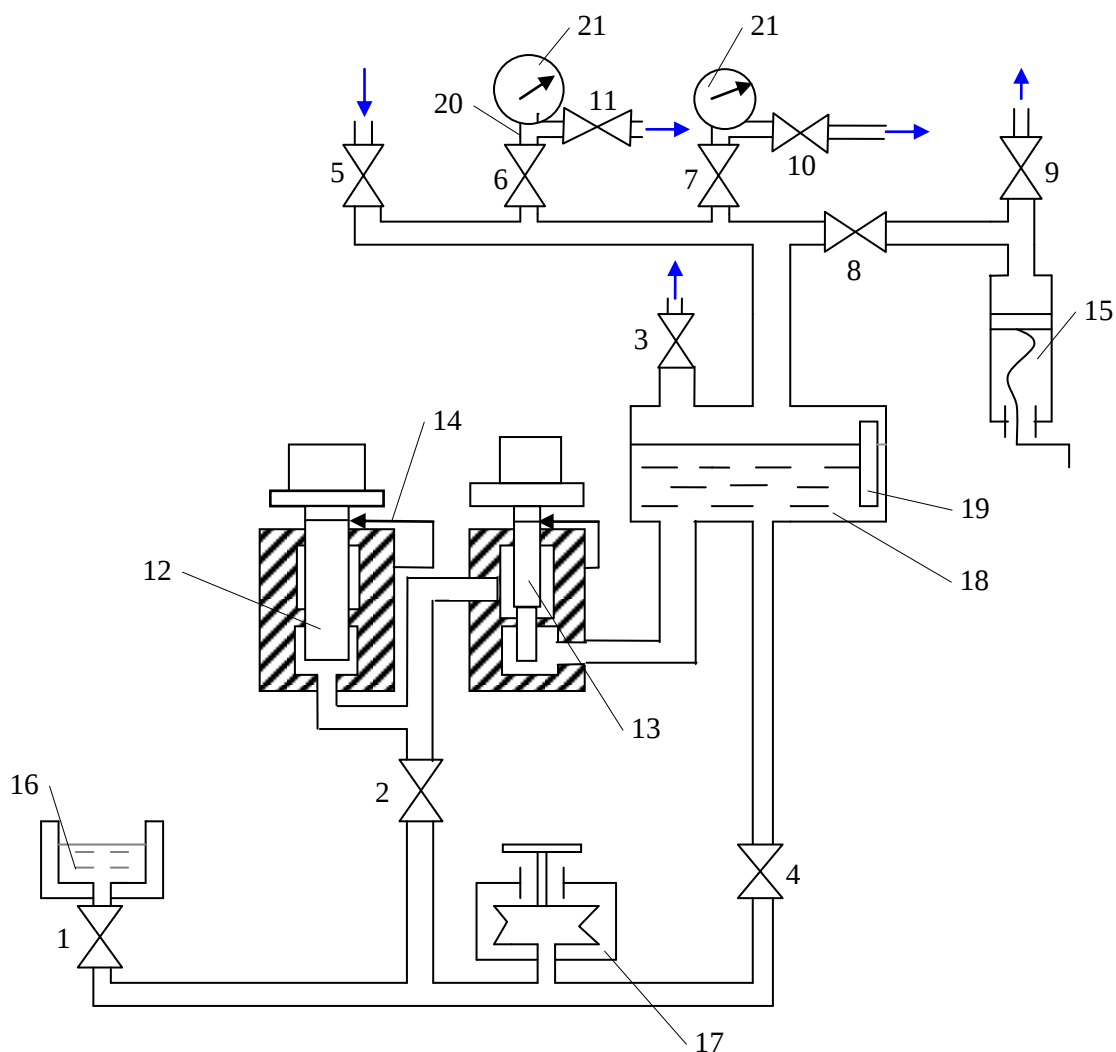


Рис. 1. Схема грузопоршневого мановакуумметра

Масло в изделие заливается через воронку 16. Уровень масла должен находиться между рисками, нанесенными на стекле 19.

Сифонный пресс 17 и вентили 1,2 и 4 обеспечивают возможность установки грузопоршневых устройств в исходное положение и служат для подачи масла в разделительный бачок 18. Вентили сифонные 6 и 7 предназначены для соединения поверяемых приборов с разделительным бачком.

Вентиль сифонный 5 предназначен для соединения разделительного бачка с пневмосетью, а вентиль 3 с атмосферой.

Вентиль сифонный 8 предназначен для соединения разделительного бачка с воздушным прессом 15.

Вентиль 9 предназначен для сообщения воздушного прессы с атмосферой.

При создании в разделительном баке избыточного давления P дифференциальный поршень поднимается, простой опускается. На дифференциальное грузопоршневое устройство необходимо положить груз массой m_1 , для возвращения поршней в исходное положение.

Указатели 14 предназначены для определения исходного положения грузоприемных устройств.

Мановакуумметр устанавливается на регулировочных винтах по уровню, находящемуся на основании изделия.

Схема соединения манометров при калибровке в случае применения в качестве рабочего эталона грузопоршневого манометра представлена на рис. 2.

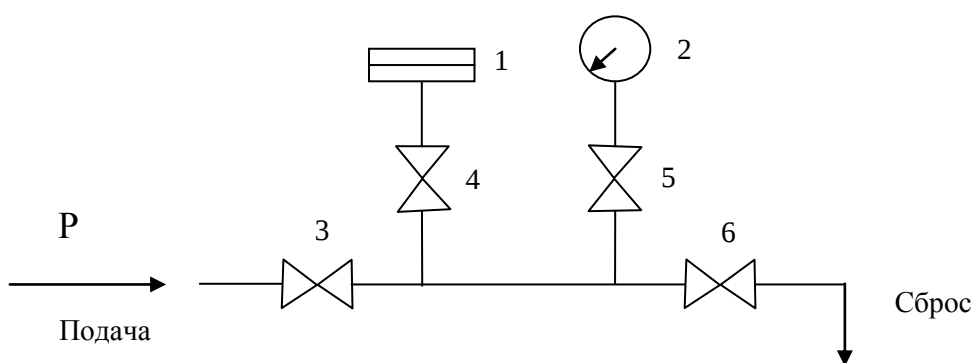


Рис. 2. Схема соединения манометров:
1 – измерительные грузы; 2 – поверяемый манометр;
3, 4, 5, 6 – вентили

Схема соединения манометров при калибровке в случае применения в качестве рабочего эталона манометра типа МО представлена на рис. 3.

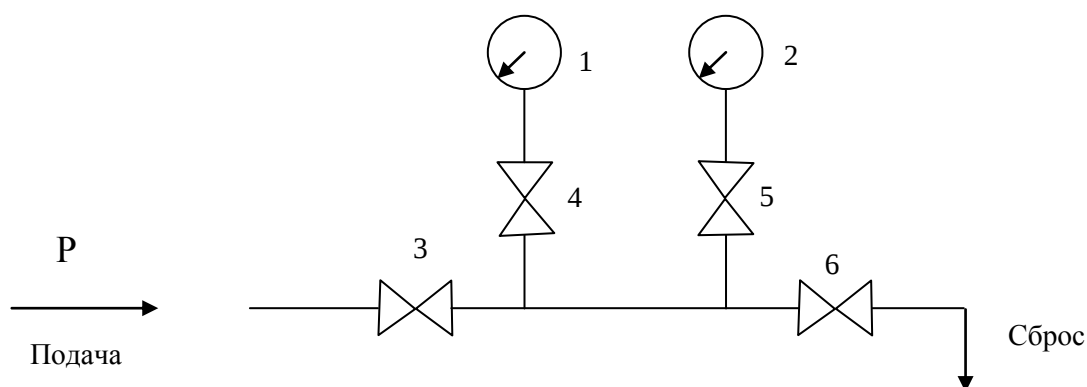


Рис. 3. Схема соединения манометров: 1 – МО (манометры образцовые деформационные типа МО с классом точности 0,4 или 0,25);
2 – поверяемый манометр; 3, 4, 5, 6 – вентили

2. Методика проведения работы

1. При изучении конструкции установки необходимо, задаваясь любым элементом по принципиальной схеме, отыскать этот элемент в установке.

2. Подготовка прибора к работе проводится в соответствии с паспортом на мановакуумметры МВП-2,5 ДДК 2.832.004ПС раздел 6 (п.6.8 и 6.9).

3. Выполнение калибровки технического манометра

1. При калибровке выполняют следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- контроль герметичности;
- контроль метрологических характеристик.

2. Контроль метрологических характеристик. Метрологические характеристики прибора – основную погрешность и вариацию показаний контролируют непосредственным сличением его показаний с действительным значением измеряемого давления, определяемым с помощью рабочих эталонов одним из следующих способов:

а) заданное действительное значение давления устанавливают **по рабочему эталону**, а показания отсчитывают по техническому манометру;

б) заданное значение давления устанавливают **по техническому манометру**, а действительное значение давления отсчитывают по рабочему эталону.

Данная работа выполняется способами а) и б). Схемы включения приборов при поверке по указанным способам приведены на рис. 2 и 3.

При контроле метрологических характеристик приборов класса точности 0,6 отсчеты показаний проводят не менее чем при **восьми** заданных значениях давления, а приборов классов точности 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 – не менее чем при **пяти** заданных значениях давления, равномерно распределенных в диапазоне измерений, включая верхний предел измерений прибора.

При контроле метрологических характеристик прибора плавно повышают давление, устанавливают заданные значения и проводят отсчеты показаний до одного знака после запятой.

Перемещение стрелки прибора должно быть плавным без скачков и заеданий со скоростью изменения давления не более 10 % диапазона в 1 с.

Заданное значение давления устанавливают при легком однократном постукивании согнутым пальцем по корпусу рабочего эталона в плоскости циферблата.

Основную погрешность определяют при прямом и обратном ходе. При обратном ходе прибор выдерживают в течение 1 мин под воздействием верхнего предельного значения измеряемого параметра.

3. Подключите изделие к источникам питания.

4. Проверьте уровень масла в разделительном бачке и установите грузопоршневые устройства в исходное положение, руководствуясь разделом 6 паспорта.

5. Положите необходимое количество грузов на тарелку соответствующего грузоприемного устройства: дифференциального при поверке манометров избыточного давления и простого – при поверке манометров вакуумметрического давления.

6. Включить тумблер питания. Вентили 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11 должны быть закрыты, а вентили 6, 7, 8 открыты.

7. Слегка откройте вентиль 5. При достижении давления в разделительном бачке заданному (соответствующее грузопоршневое устройство поднимается), вентиль 5 быстро закройте.

8. Вращая ручку пневматического пресса 15 (рис. 1) установите грузопоршневые устройства в исходное положение.

Снимите показания поверяемых манометров в пяти точках при прямом и обратном ходе.

9. Проведение калибровки по схеме (рис. 3) аналогично калибровке по схеме (рис. 2) только при создании эталонного сигнала давления вместо грузов используются манометры образцовые деформационные типа МО с классом точности 0,4 или 0,25.

10. Результаты калибровки технического манометра записать в приведенную ниже таблицу по способу «а» и таблицу по способу «б» (таблица «б» аналогична таблице «а»).

Таблица

Расчет погрешности измерения

Шкала прибора %	При возрастании показаний		При убывании показаний		Вариация, кгс/см ² , Н	Абсолютная погрешность, кгс/см ²		Приведенная погрешность, %
	Показания рабочего эталона кгс/см ² , Р _о	Показания технического манометра кгс/см ² , Р↑	Показания рабочего эталона кгс/см ² , Р _о	Показания технического манометра кгс/см ² , Р↓		Δ _↑	Δ _↓	γ _{МАКС}
0								
20								
40								
60								
80								
100								

Основную абсолютную погрешность прибора определяют:

- **по способу «а»** как разность показаний его при повышении $P\uparrow$ и понижении давления $P\downarrow$ и действительных значений измеряемого давления P_o , определяемых с помощью рабочего эталона, по формулам

$$\Delta_{\uparrow} = P\uparrow - P_o, \quad \Delta_{\downarrow} = P\downarrow - P_o;$$

- **по способу «б»** как разность показаний рабочего эталона при повышении и понижении давления и данными, соответствующими заданному значению давления, по формулам

$$\Delta_{\uparrow} = P_o - P\uparrow, \quad \Delta_{\downarrow} = P_o - P\downarrow.$$

Значение основной абсолютной погрешности прибора для каждого заданного значения давления (как при повышении, так и при понижении давления) не должно превышать предел допускаемой основной абсолютной погрешности прибора.

Основную приведенную погрешность определяют как отношение наибольшего значения основной абсолютной погрешности $\Delta_{\text{макс.}}$ к номинальному диапазону измерения прибора P_H по формуле

$$\gamma_{\text{макс.}} = \frac{\Delta_{\text{макс.}}}{P_H} \cdot 100.$$

Наибольшее значение основной приведенной погрешности не должно превышать значение предела допускаемой основной приведенной погрешности прибора.

Вариацию показаний прибора H определяют как абсолютное значение разности показаний его при повышении $P\uparrow$ и понижении $P\downarrow$ давления по формуле

$$H = |P\uparrow - P\downarrow|.$$

Значения вариации показаний прибора для каждого заданного значения давления, кроме верхнего предела измерений, не должно превышать предела ее допускаемого значения.

3. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на специальном бланке, который выдается каждому студенту за несколько дней до проведения лабораторных занятий. В бланке должны быть отражены:

1. Название (тема) работы.
2. Учебные цели работы.
3. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.

4. Краткое теоретическое обоснование метода.
5. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их основные технические и метрологические характеристики.
6. Таблица основных технических и метрологических характеристик приборов и основных элементов лабораторной установки.
7. Краткая методика проведения калибровки.
8. Таблицы опытных и расчетных данных.
9. Расчетные формулы и вычисления.
10. Выводы по работе.
11. Оценка отчета по работе и дата его защиты.
12. Подписи преподавателя и студента.

Оформление отчета по лабораторной работе складывается из двух этапов – подготовительного и рабочего.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в часы самостоятельных занятий в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы.

На рабочем этапе, при проведении лабораторной работы студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки, заполнить таблицы опытных и расчетных данных, оценить погрешности поверяемых манометров и сделать выводы по лабораторной работе.

В выводах необходимо оценить погрешности манометров и определить соответствие найденного в результате поверки класса точности манометра его паспортному значению. Отчет по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

4. Контрольные вопросы

1. Основные метрологические характеристики технических деформационных манометров.
2. Основные метрологические характеристики образцовых деформационных манометров.
3. Основные метрологические характеристики грузопоршневых манометров.
4. Устройство и принцип действия технических деформационных манометров и образцовых манометров типа МО и ВО.
5. Устройство и принцип действия грузопоршневых мановакуумметров.
6. Методика выполнения калибровки манометров.
7. Основные методы калибровки.

8. Расчетные формулы для определения основной абсолютной погрешности прибора.

9. Расчетные формулы для определения приведенной погрешности прибора.

Литература

1. Мулев Ю.В. Манометры/ Ю.В. Мулев. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 279 с.

2. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов/ Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 460с., ил.

3. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике под ред. А.В. Калининченко. – М.: «Инфра-Инженерия», 2008. – 576 с.

4. Попов А.Ф. Теплотехнический контроль на атомных электростанциях / А.Ф. Попов. - М.: ЭнергATOMиздат, 1986.

5. Никитин В.А., Бойко С.В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: Учебное пособие – 2-е изд. Перераб. И доп. – Оренбург ГОУ ОГУ, 2004. – 462 с.

6. Контрольно-измерительные приборы и инструменты: Учебник для нач. проф. Образования/ С.А. Зайцев, Д.Д. Грибанов, А.Н. Толстов, Р.В. Меркулов. – М.: Издательский центр «Академия»; ПрофОбрИздат, 2002. – 464 с.

7. Жарковский Б.И. Приборы автоматического контроля и регулирования / Б.И. Жарковский. - М.: Высшая школа, 1989.

Лабораторная работа № 7

Тема. Контроль метрологических характеристик преобразователей типа «Сапфир».

Учебные цели. 1. Закрепление и углубление знаний по устройству и правилам эксплуатации преобразователей типа «Сапфир» и грузопоршневых манометров.

2. Привитие навыков работы на калибровочных установках.

Схема лабораторной установки

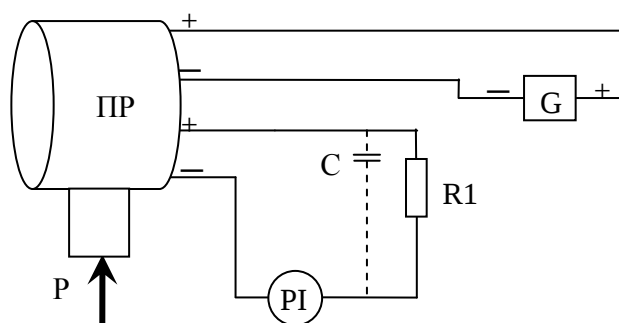


Рис. 1. Схема включения ПР при измерении выходного сигнала по миллиамперметру

Схема лабораторных установок включает:

ПР – поверяемый преобразователь;

G – источник питания постоянного тока (22БП-36);

R1 – резистор или магазин сопротивлений;

P – измеряемый параметр;

C – конденсатор емкости (допускается не устанавливать)

R1 + R2 должны быть (1200 ± 50) Ом при выходном сигнале 0-5mA;

PI – миллиамперметр.

Давление P в данной лабораторной работе создается образцовыми грузопоршневыми манометрами типа MTU или МП - 600.

Устройство и принцип работы лабораторного манометра типа MTU

Лабораторные грузопоршневые манометры типа MTU – точные образцовые приборы, которые служат для градуировки и поверки пружинных и других манометров, а также для точных измерений избыточного давления.

Эти манометры также могут применяться в качестве гидравлических манометрических прессов для поверки и градуировки пружинных

манометров путем сравнения их показаний с образцовыми манометрами более высокого класса точности.

На рис. 2 представлена гидравлическая схема образцового грузопоршневого манометра типа MTU.

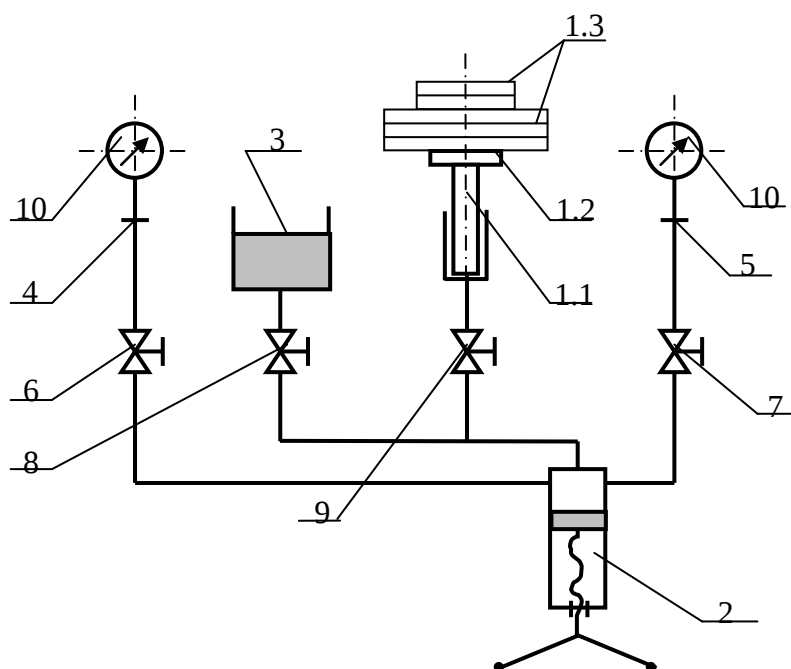


Рис. 2. Гидравлическая схема манометра MTU:
1 – измерительная система: 1.1 - измерительный поршень;
1.2 - основной груз; 1.3 - грузы; 2 – масляный насос;
3 – уравнильный масляный бак; 4,5 – манометрические
гнезда; 6,7 – клапаны манометрических гнезд; 8 – клапан
уравнильного масляного бака; 9 – клапан
измерительной системы; 10 – испытываемый манометр

Масляный насос 2 засасывает масло из уравнильного масляного бака 3 и нагнетает его в гидравлическую систему манометра.

Под действием давления, созданного масляным насосом, измерительный поршень 1.1 вместе с грузами 1.3 поднимается на высоту, отмеченную на указателе положения основного груза. В измерительной системе 1 грузопоршневого манометра создается эталонное давление с помощью измерительного поршня 1.1, нагруженного соответствующей массой грузов 1.3. Во время проведения измерений давления измерительному поршню вместе с грузами необходимо сообщить вращательное движение с угловой скоростью около 9,43 рад/с (90 об/мин).

Запорные клапаны 6, 7, 8 и 9 служат для отсечки ветви гидравлической системы в зависимости от потребностей.

Технические данные грузопоршневых манометров типа MTU:

1. Класс точности – 0,05 (0,05 % измеренного давления).

2. Пределы измерения, номинальное сечение измерительной системы, масса основного груза – согласно табл. 1.
3. Диапазон температуры окружающей среды +10 °С, +20 °С, +30 °С.
4. Относительная влажность воздуха – 80 %.

Таблица 1

Тип манометра	Пределы измерения		Минимальный прирост измерительного давления		Номинальное сечение измерительной системы, см ²	Масса основного груза, кг
	МПа	кгс/см ² , бар	МПа	кгс/см ² , бар		
MTU-60	0,1 - 6,0	1 - 60	0,05	0,5	0,5	0,5

Эксплуатация и безопасность обслуживания

Во время эксплуатации манометра необходимо соблюдать осторожность в связи с созданием высокого давления масла в гидравлической системе прибора.

Особенно необходимо соблюдать следующие указания:

- перед каждым снятием измерительных грузов с основного груза следует снизить давление в гидравлической системе до нуля, поворачивая рукоятку масляного насоса 2 (рис. 2) влево до тех пор, пока измерительный поршень не опустится в исходное положение;
- перед каждым демонтажем испытываемых манометров из манометрических гнезд /4 и 5/ необходимо снизить давление в гидравлической системе до нуля, поступая, как указано выше, а также отсечь манометрические гнезда от остальной системы путем поворота рукояток клапанов 6 и 7 вправо до отказа;
- перед каждым открытием запорных клапанов 6, 7, 8 и 9 следует снизить давление до нуля.

Закончив работу с манометрами, следует:

- вынуть из манометрических гнезд испытываемые манометры и надеть на гнезда защитные резиновые колпаки, предварительно снизив давление до нуля;
- открыть запорный клапан 8 (рис. 2) уравнительного масляного бака 3, повернув рукоятку клапана влево (на 1,5 – 2,5 оборота);
- рукоятку масляного насоса 2 повернуть вправо до отказа, а затем влево на 1,0 – 1,5 оборота.

Примечание. Рукоятку масляного насоса следует поворачивать медленно и плавно, а после ощущения легкого сопротивления прекратить поворачивать.

После длительного перерыва в эксплуатации манометра (не менее 48 ч) прокладки поршня масляного насоса могут приклеиться к цилиндру.

Поэтому каждый раз прежде, чем приступить к работе с манометром, необходимо:

- рукоятку масляного насоса 2 повернуть вправо на 0,5 – 1,0 оборот с целью устранения возможного прилипания прокладки поршня.

1. Методика выполнения работы

Калибровка манометров, в том числе и типа «Сапфир» включает в себя следующие **операции**:

- внешний осмотр прибора;
- опробование (установка нуля и проверка герметичности преобразователя);
- определение основной погрешности преобразователя;
- определение вариации выходного сигнала преобразователя.

Средства калибровки (поверки) манометров типа «Сапфир». В качестве образцовых приборов для измерения давления чаще всего применяются грузопоршневые манометры типа МП, образцовые трубчато-пружинные манометры типа МО, преобразователи давления измерительные электрические типа ИПД или комплексы измерительные ИПДЦ, образцовые датчики давления типа «Воздух», в зависимости от выбранного метода и схемы поверки.

Условия калибровки (поверки) манометров типа «Сапфир». При проведении калибровки должны быть соблюдены следующие условия:

- а) температура окружающего воздуха $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$;
- б) относительная влажность воздуха от 30...80 %;
- в) атмосферное давление от 84...106,7 кПа;
- г) отсутствие вибрации, тряски, ударов, наклонов, магнитного поля (кроме земного);
- д) напряжение питания постоянного тока $(36 \pm 0,72) \text{ В}$;
- е) сопротивление нагрузки $(1200 \pm 50) \text{ Ом}$ при калибровке преобразователя с выходным сигналом 0...5 мА;
- ж) рабочая среда – воздух, газ, жидкость.

Подготовка к калибровке:

- выдержать не менее 3 ч при вышеуказанных условиях;
- выдержать не менее 0,5 ч после включения питания;
- проверить герметичность системы в течение 3 мин под давлением, равным верхнему пределу измерения.

Определение основной погрешности

Основную погрешность определяют **тремя способами**.

Первый способ. По образцовому СИТ (манометру) на входе – устанавливают измеряемый параметр, равный номинальному, а по другому образцовому СИТ (миллиамперметру) измеряют значение этого параметра на выходе;

Второй способ. По образцовому СИТ на выходе (миллиамперметру) – устанавливают расчетное значение выходного сигнала, соответствующее номинальному значению измеряемого параметра, а по другому образцовому СИТ (манометру) измеряют значение этого параметра на входе;

Третий способ. Сравнением выходных сигналов поверяемого и образцового преобразователей.

Данная работа выполняется по первому и второму способам. Схема включения преобразователей при калибровке по способам 1, 2 приведена на рис. 1.

Расчетное значение выходного сигнала, соответствующее измеряемому давлению или перепаду давления, вычисляется по формуле

$$I_p = \frac{P}{P_{\max}} (I_{\max} - I_o) + I_o,$$

где I_p – расчетное значение выходного сигнала, соответствует измеряемому давлению или перепаду давления, мА;

$I_{\max}$ – наибольшее значение выходного сигнала, мА;

I_o – наименьшее значение выходного сигнала, мА;

P – значение измеренного давления или перепада давления, кПа; МПа;

$P_{\max}$ – верхний предел измерений давлений (избыточного, перепада) кПа; МПа.

Устанавливают следующие параметры калибровки:

m – число проверяемых точек в диапазоне изменений, $m = 5$;

n – число наблюдений при экспериментальном определении значений погрешности в каждой из проверяемых точек при прямом и обратном ходах, $n = 1$;

Основную погрешность определяют при пяти значениях измеряемой величины, в том числе при нижнем и верхнем предельном значении выходного сигнала. Интервал 30 % диапазона измерений.

Основную погрешность определяют при прямом и обратном ходе. При обратном ходе ПР выдерживают в течение 1 мин под воздействием верхнего предельного значения измеряемого параметра. Основную погрешность γ_d в % нормирующего значения вычисляют по формулам.

При калибровке по способу 1

$$\gamma_{\text{д}} = \frac{I - I_p}{I_{\text{max}} - I_0} \cdot 100,$$

где I – действительное значение выходного сигнала при измерении на выходе тока, мА.

При калибровке по способу 2

$$\gamma_{\text{д}} = \frac{P_{\text{д}} - P_{\text{н}}}{P_{\text{max}}} \cdot 100,$$

где $P_{\text{н}}$ - номинальное значение измеряемого параметра, кПа, МПа;

$P_{\text{д}}$ - действительное значение измеряемого параметра, кПа, МПа.

Вычисление $\gamma_{\text{д}}$ проводят с точностью до второго знака после запятой.

Преобразователь признают годным, если во всех калибруемых точках основная погрешность меньше предельно допустимой основной погрешности прибора, указанной в паспорте.

Преобразователь признают негодным, если хотя бы в одной точке основная погрешность больше предельно допустимой основной погрешности прибора, указанной в паспорте.

Определение вариации

Вариацию выходного сигнала определяют при каждом проверяемом значении измеряемого параметра, кроме верхнего и нижнего значений, по показаниям, полученным при определении основной погрешности.

Вариацию выходного сигнала $\gamma_{\text{г}}$ в % нормирующего значения вычисляют по формулам:

- для способа 1

$$\gamma_{\text{г}} = \frac{I' - I}{I_{\text{max}} - I_0} \cdot 100,$$

где I и I' - действительные значения выходного сигнала на одной и той же точке при прямом и обратном ходе, мА;

- для способа 2

$$\gamma_{\text{г}} = \frac{P'_{\text{д}} - P_{\text{д}}}{P_{\text{max}}} \cdot 100,$$

где $P_{\text{д}}$ и $P'_{\text{д}}$ - действительные значения измеряемого параметра на одной и той же точке при прямом и обратном ходе, кПа, МПа.

Вариация выходного сигнала не должна превышать 0,4 $|\gamma|$ предельно допустимой основной погрешности.

2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с элементами лабораторной установки, записать их номинальные данные и основные метрологические характеристики.
2. Изучить схему рабочего места по калибровке преобразователей типа «Сапфир» и принцип работы лабораторного манометра типа МТУ.
3. Изучить порядок подготовки рабочего места к калибровке и порядок проведения калибровки.
4. Получить допуск у преподавателя (инженера лаборатории) к проведению лабораторной работы.
5. Провести подготовку рабочего места к калибровке.
6. Выполнить калибровку преобразователя «Сапфир» по 1 или 2 способу.
7. Предъявить записи с полученными результатами преподавателю и по его указанию в случае необходимости повторить измерительные опыты.
8. Оформить отчет по проведенной лабораторной работе и сдать его преподавателю в указанные сроки.

3. Оформление отчета по лабораторной работе

В отчете должны быть отражены:

1. Название (тема) работы.
2. Учебные цели работы.
3. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.
4. Краткое теоретическое обоснование метода.
5. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их основные технические и метрологические характеристики.
6. Краткая методика проведения калибровки.
7. Таблица опытных и расчетных данных (табл. 2 и 3).
8. Расчетные формулы и вычисления.
9. Выводы по работе.
10. Оценка отчета по работе и дата его защиты.
11. Подписи преподавателя и студента.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы.

На рабочем этапе, при проведении лабораторной работы студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки, заполнить таблицу опытных и расчетных данных, оценить точности поверяемых манометров и сделать выводы по лабораторной работе.

В выводах необходимо оценить погрешности преобразователей и определить соответствие найденного в результате калибровки класса точности преобразователя его паспортному значению.

Отчет по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

Таблица 2

Опытные и расчетные данные определения метрологических характеристик преобразователя типа «Сапфир» по способу 1

Номинальное значение давления, P , кгс/см ² (кПа, МПа)	Расчетное значение выходного сигнала I_p , мА	Действительное значение выходного сигнала I , мА		Основная погрешность в % нормирующего значения, γ_d		Вариация выходного сигнала в % нормирующего значения, γ_Γ
		Прямой ход (I)	Обратный ход (I')	Прямой ход	Обратный ход	

Таблица 3

Опытные и расчетные данные определения метрологических характеристик преобразователя типа «Сапфир» по способу 2

Номинальное значение давления, P , кгс/см ² (кПа, МПа)	Расчетное значение выходного сигнала I_p , мА	Действительное значение измеряемого параметра, P_d , кгс/см ² (кПа, МПа)		Основная погрешность в % нормирующего значения, γ_d		Вариация выходного сигнала в % нормирующего значения, γ_Γ
		Прямой ход (P_d)	Обратный ход (P'_d)	Прямой ход	Обратный ход	

4. Контрольные вопросы

1. Основные метрологические характеристики преобразователей типа «Сапфир».
2. Основные метрологические характеристики образцовых грузопоршневых манометров типа МТУ.
3. Устройство и принцип действия преобразователей типа «Сапфир» (все модификации).
4. Устройство и принцип действия образцовых грузопоршневых манометров типа МТУ.
5. Методика выполнения калибровки преобразователей типа «Сапфир».
6. Основные методы калибровки.
7. Расчетные формулы для определения основной погрешности и вариации.

Литература

1. Мулев Ю.В. Манометры/ Ю.В. Мулев. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 279 с.
2. Кузнецова Н.И., Скидан А.А., Чуклин А.А. Технологические измерения и приборы АЭС. – Ч. 2. Измерение давления, расхода и уровня на АЭС: Учеб. пособие для очной и заочной форм обучения. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2006. – 420 с.: ил.
3. Иванова Г.М. Теплотехнические измерения и приборы: учебник для вузов/ Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 460с., ил.
4. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике под ред. А.В. Калининченко. – М.: «Инфра-Инженерия», 2008. – 576 с.
5. Попов А.Ф. Теплотехнический контроль на атомных электростанциях / А.Ф. Попов. - М.: Энергatomиздат, 1986.
6. Никитин В.А., Бойко С.В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: Учебное пособие – 2-е изд. Перераб. И доп. – Оренбург ГОУ ОГУ, 2004. – 462 с.
7. Контрольно-измерительные приборы и инструменты: Учебник для нач. проф. образования/ С.А. Зайцев, Д.Д. Грибанов, А.Н. Толстов, Р.В. Меркулов. – М.: Издательский центр «Академия»; ПрофОбрИздат, 2002. – 464 с.
8. Жарковский Б.И. Приборы автоматического контроля и регулирования / Б.И. Жарковский. - М.: Высшая школа, 1989.
9. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям / В.С. Чистяков. - М.: Энергоатомиздат, 1990.

Лабораторная работа № 8

Тема. Измерение состава сред потенциометрическим методом.

Учебные цели. 1. Закрепление и углубление знаний по устройству и правилам эксплуатации иономера.

2. Привитие навыков работы на измерительных установках.

1. Теоретические сведения

Качество протекания технологических процессов зависит от того, имеют применяемые растворы нейтральную, щелочную или кислую реакцию.

Степень щелочности или кислотности этих растворов характеризуется величиной показателя концентрации водородных ионов, которую принято обозначать рН. Известно, что вода диссоциирует на ионы водорода, имеющие положительный заряд, и ионы гидроксила, имеющие отрицательный заряд, по схеме $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ (причем концентрация тех и других в грамм-ионах на литр в воде без примесей одинакова).

В связи с тем, что из молекулы воды всегда образуется только один ион водорода и один ион гидроксила, то $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$, а значит $[\text{H}^+]^2 = 10^{-14}$ и отсюда $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ и $[\text{OH}^-] = 10^{-7}$.

Водородный показатель рН является мерой активности (активной концентрации) ионов водорода

$$pH = -\lg [H^+] f = -\lg a_H = \lg \left(\frac{1}{a_H} \right).$$

Для воды $[\text{H}^+] = 10^{-7}$, это значит рН для чистой воды равен 7.

Определение потенциала производится потенциометрическим методом. Сущность его состоит в измерении электродвижущей силы, возникающей на специальных электродах, погруженных в исследуемый раствор и закономерно изменяющейся с изменением величины рН.

Если какой-либо металл погрузить в раствор, содержащий ионы этого металла, то на границе металл-раствор возникнет разность потенциалов, величина которой зависит от концентрации ионов металла в растворе. Величина возникающего потенциала определяется уравнением Нернста

$$E = E_o + \frac{RT}{nF} \ln C,$$

где R - универсальная газовая постоянная;

T - абсолютная температура;

n - валентность металла;

F - число Фарадея;

C - концентрация ионов в растворе;

E_0 - стандартный потенциал электрода, зависящий от свойств самого электрода.

По величине ЭДС можно судить о концентрации ионов в растворе. Аналогично можно измерять и концентрацию и водородных ионов, то есть величину pH растворов, так как водород ведет себя также как и металлы.

Так как электродный потенциал непосредственно измерить нельзя, в потенциометрическом методе применяют гальваническую измерительную ячейку (рис. 1) в которой один электрод является измерительным, а другой – электрод сравнения, потенциал которого не зависит от концентрации ионов в растворе.

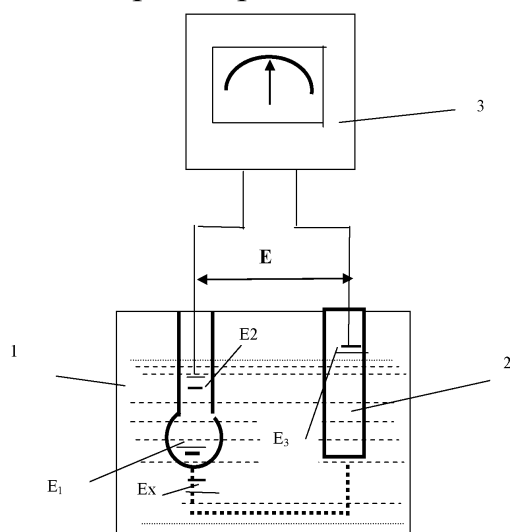


Рис. 1. Схема измерения pH:

- 1 - стеклянный электрод;
- 2 - сравнительный электрод;
- 3 - измерительный прибор

ЭДС такой ячейки определяется суммой всех потенциалов возникающих в электрической цепи ячейки. Согласно рис. 1 ЭДС измеряемого элемента равна алгебраической сумме четырех потенциалов, из которых только один изменяется с изменением pH исследуемого раствора (E_x), так как величины E_1 , E_2 , E_3 не зависят от свойств контролируемого раствора и могут изменяться только при изменении температуры

$$E_1 + E_2 + E_3 + E_x = E,$$

где E - суммарная ЭДС $E = f(\text{pH})$ измеряется прибором, называемым pH метром.

При этом потенциал измерительного электрода функционально связан с концентрацией водородных ионов в растворе, а потенциал сравнительного или вспомогательного электрода должен оставаться в процессе измерения постоянным.

Самое широкое применение для промышленных, а также для лабораторных измерений в качестве измерительных электродов нашли стеклянные электроды. Чаще всего стеклянный электрод изготавливается в виде полого шарика 1 из специального электродного стекла. Шарик припаивается к концу толстостенной стеклянной трубочки 2 и заполняется раствором электролита. Внутри шарика помещается вспомогательный электрод 4, предназначенный для снятия потенциала с внутренней поверхности шарика. В качестве вспомогательного электрода могут применяться как коллоидные так хлорсеребряные и бромсеребряные электроды.

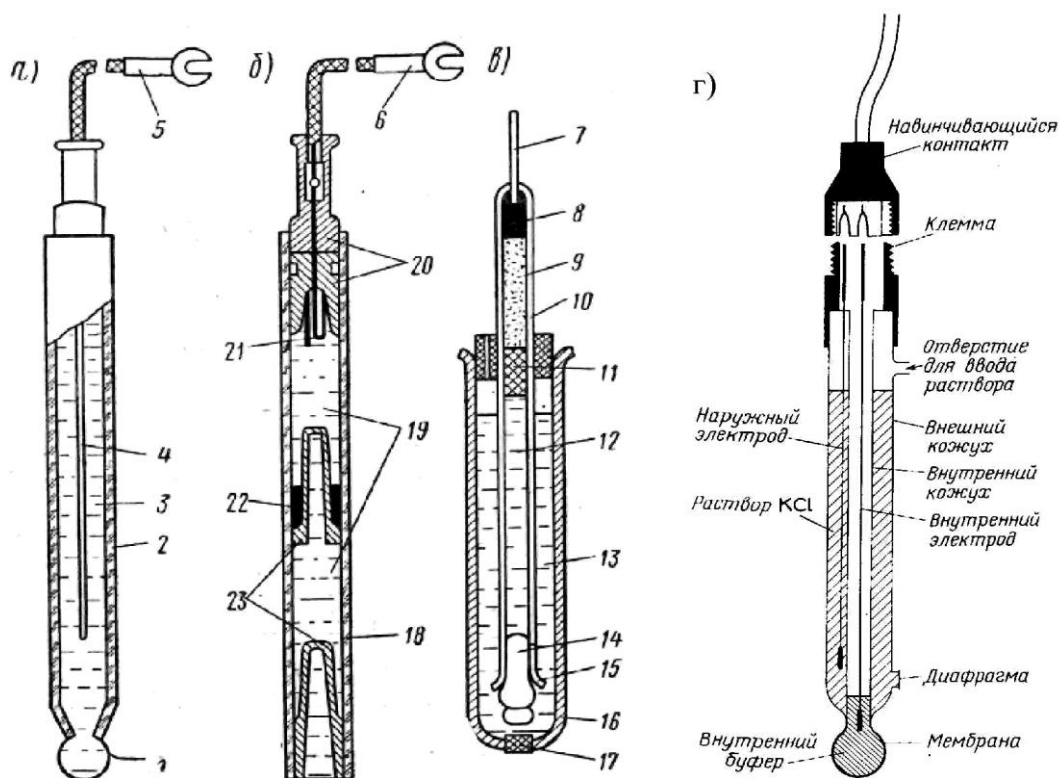


Рис. 2. Конструкции электродов: а – стеклянный; б – хлорсеребряный; в – коломельный; г - комбинированный электрод; 1 - шарик из электродного стекла; 2 - толстостенная стеклянная трубка (корпус); 3 - эталонный раствор; 4 - вспомогательный хлорсеребряный контактный электрод; 5 - выводной провод; 6 - выводной провод; 7 - контактный проводник; 8 - ртуть; 9 - коломельная паста; 10 - стеклянная трубка; 11 - тампон; 12 - насыщенный раствор хлористого калия; 13 - насыщенный раствор хлористого калия; 14 - стеклянная пробка; 15 - шлиф; 16 - защитная пробирка; 17 - асбест; 18 - корпус; 19 - раствор хлористого калия; 20 - резиновые уплотнители; 21 - платиновый контактный электрод; 22 - кристаллическое хлористое серебро; 23 - резиновые мембраны

Основная часть электрода (собственно электрод) находится в верхней части трубки. Здесь помещается небольшое количество ртути и коломельной пасты (Hg_2Cl_2). В настоящее время применяются комбинированные электроды, включающие в себя измерительный и сравнительный электрод (рис. 2, г).

ЭДС стеклянного электрода при температуре 20°C изменяется на величину 57 мВ при изменении величины рН раствора на одну единицу. Величина изменения ЭДС измерительного электрода при изменении рН раствора на одну единицу $S = -E \cdot 57 \text{ мВ}$. Разница потенциалов внутренней и наружной сторон стеклянного электрода в одинаковых растворах ($E_x - E_1$) называется потенциалом асимметрии, величина которого у различных электродов может быть различна.

При изменении температуры контролируемого раствора электродный потенциал стеклянного электрода меняется, вследствие изменения коэффициента RT в уравнении Нернста. Вследствие этого одной и той же величине pH соответствуют при разных температурах раствора различные ЭДС электродной системы. Зависимость ЭДС от pH и температуры представляет собой семейство прямых, пересекающихся в одной точке ($pH_{и}$ $E_{и}$), **которая называется изопотенциальной** (рис. 3).

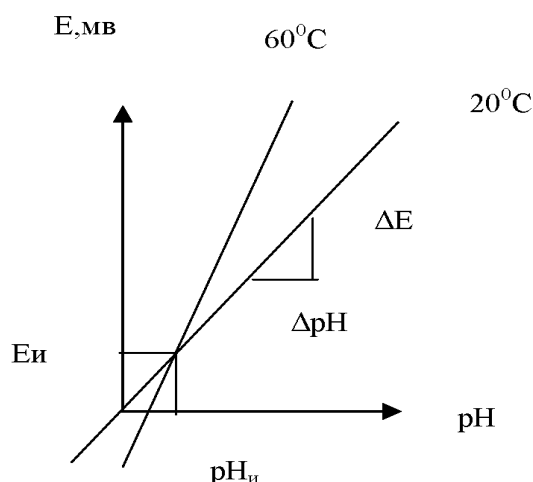


Рис. 3. Характеристики электродной системы со стеклянным электродом для различных температур

Из рисунка видно, что наклон прямой меняется с изменением температуры, меняется и крутизна $S = \Delta E / \Delta pH$. Точка, в которой пересекаются прямые, называется точкой постоянной ЭДС или **изопотенциальной точкой**.

Для стеклянных электродов (pH и pNa) координата изопотенциальной точки нормируется (указывается изготовителем).

Выпускаются pH -электроды с разными изопотенциальными точками ($pH_{и} = 4,25; 7,00; 10,00$). Для твердоконтактных электродов выпуск модификаций с разными изопотенциальными точками не возможен. У всех она находится в области $pH_{и} = 1,3 \dots 2,5$.

Измерительные схемы pH -метров предусматривают автоматическую корректировку показаний прибора при изменении температуры исследуемого раствора.

Современные измерительные приборы позволяют автоматически учитывать температурные изменения электродной характеристики (термокомпенсация), для этого в прибор должны быть введены координаты изопотенциальной точки и текущая температура. Последняя может вводиться либо вручную, либо посредством термодатчика, подключенного к прибору.

Термокомпенсация применяется только при прямой потенциометрии, при использовании прочих потенциометрических методов температура

растворов должна быть постоянной. Применение термокомпенсации всегда вносит некоторую дополнительную погрешность в результаты измерения. Точность измерений при прямой потенциометрии заметно зависит от условий проведения измерений и состава анализируемой среды.

Можно выделить следующие случаи:

- наиболее точные измерения возможны в растворах не образующих осадки, имеющих рН от 2 до 12 и температуру от 10...40 °С при использовании термостатирования пробы с точностью $\pm 0,3$ °С и лучше. В этом случае может быть достигнута точность измерений 0,005...0,01 рН;

- при более низких (рН<2) и более высоких (рН>12) значениях рН точность измерений снижается из-за увеличения диффузионного потенциала на электроде сравнения. Для увеличения точности следует выбирать электрод сравнения с большим истечением. Кроме того, следует учитывать, что рН щелочных растворов может изменяться в результате поглощения CO_2 из воздуха. Точность измерений для этих условий можно оценить величиной рН - 0,01...0,05;

- измерения при низкой температуре могут быть сопряжены с такими проблемами как засорение электролитического ключа электрода сравнения выпадающими из-за снижения растворимости кристаллами соли. Для предотвращения этого эффекта следует применять электроды сравнения с более разбавленными электролитами, например ЭСр-10101/3 (заполненный 3 М КСl). С другой стороны, на точности измерений отражается повышение сопротивления измерительного электрода, которое приводит к увеличению времени отклика и усилению чувствительности к электростатическим наводкам. Достижимая точность измерений рН - 0,01...0,05;

- при высокой температуре (>40 °С) проблемы лабораторного анализа в первую очередь могут быть связаны с испарением пробы и, следовательно, изменением ее состава. Другой причиной изменения состава пробы может стать увеличение скорости истечения электролита из электрода сравнения из-за снижения его вязкости. Достижимая точность измерений рН - 0,01...0,05;

- применение термокомпенсации незначительно увеличивает погрешность измерений, если диапазон изменения температуры не превышает ± 10 °С. Достижимая точность измерений рН - 0,05...0,1;

- при колебаниях температуры более ± 10 °С сомнительно получение результатов измерений рН с точностью лучше $\pm 0,1$. Несколько повысить точность измерений позволяет определение изопотенциальной точки для конкретного диапазона температур.

2. Методика выполнения работы

1. Измерения производят после прогрева прибора в течение 30 мин при нормальном напряжении питания 220 В.

2. Настройка прибора производится в зависимости от предполагаемого в дальнейшем рабочего диапазона измерения pH.

3. Отсчет показаний при измерении величины pH производится по шкале показывающего прибора.

4. Снять показания для всех растворов без компенсации температурной погрешности и с компенсацией.

5. Определить температурную погрешность измерения экспериментальную и теоретическую и сравнить их.

6. Определить крутизну характеристики при измеряемой температуре и сравнить ее с номинальной (графически).

7. Сделать выводы по экспериментальным данным.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с паспортом на иономер и с его элементами.

2. Определить и записать основные технические и метрологические характеристики прибора.

3. Изучить схему рабочего места по измерению pH и принцип работы лабораторного иономера.

4. Изучить порядок подготовки рабочего места к измерениям и порядок проведения измерений.

5. Получить допуск у преподавателя (инженера лаборатории) к проведению лабораторной работы.

6. Выполнить измерения pH нескольких растворов.

7. Предъявить записи с полученными результатами преподавателю и по его указанию в случае необходимости повторить измерительные опыты.

8. Оформить отчет по проведенной лабораторной работе и сдать его преподавателю в указанные сроки.

4. Оформление отчета по лабораторной работе

В отчете должны быть отражены.

1. Название (тема) работы и учебные цели работы.

3. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.

4. Краткое теоретическое обоснование метода.

5. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их основные технические и метрологические характеристики.

6. Краткая методика проведения измерения.

7. Таблица опытных и расчетных данных.

8. Расчетные формулы и вычисления.

9. Выводы по работе.

10. Оценка отчета по работе и дата его защиты.

11. Подписи преподавателя и студента.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы.

На рабочем этапе, при проведении лабораторной работы студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки, заполнить таблицу опытных и расчетных данных, оценить точности приборов и сделать выводы по лабораторной работе.

Отчет по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

Устройство и принцип работы лабораторного иономера И-130

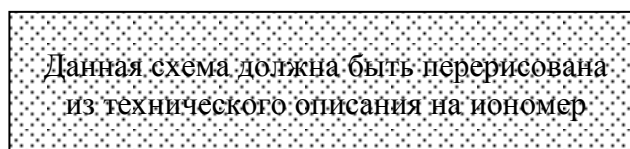


Рис. 4. Принципиальная схема иономера

Технические характеристики прибора

Пределы измерений величины рН _____

Диапазоны измерения рН _____

Цена деления рН _____

Предел основной абсолютной погрешности преобразователя _____ рН

Параметры электродной системы

Координаты изопотенциальной точки $pH_{и} = \text{_____}$ рН;

$E_{и} = \text{_____}$ мВ.

Крутизна характеристики при температуре раствора 20 °С

$S = \text{_____} \pm \text{_____}$ мВ/рН

Опытные и расчетные данные

Название раствора	Значение рН с компенсацией температурной погрешности, рН	Значение рН без компенсации температурной погрешности, рН	Экспериментальная температурная погрешность измерения		Теоретическая (расчетная) температурная погрешность измерения	
			Абсолютная, рН	Относительная, %	Абсолютная, рН	Относительная, %
Раствор 1						
Раствор 2						
Раствор 3						
Раствор 4						

5. Контрольные вопросы

1. В чем заключается физический смысл термина рН?
2. На чем основан потенциометрический метод измерения концентрации растворов?
3. Какой электрод называют измерительным, и какой сравнительным?
4. Что называется изопотенциальной точкой?
5. К какому значению рН соответствует нейтральная реакция и нейтральные свойства растворов?
6. Какая влияющая величина вызывает существенную погрешность у потенциометрического анализатора?
7. Как устраняется температурная погрешность у промышленного рН-метра?
8. Назначение и устройство иономера.
9. Основные метрологические характеристики лабораторного иономера.
10. Расчетные формулы для определения температурной погрешности.

Литература

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М.В. Кулаков. – 3-е изд., 1983. – 424 с.
2. Комаровская В. П. Шевчук, Л. И. Медведева. Технические средства автоматизации и измерения в химическом производстве Ч. III Физико-химические измерения и приборы: учеб. пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 2004. - 93 с.
3. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: в 5 ч. /Ч. 4: Методы и средства измерения состава и свойств веществ: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению

221400 «Управление качеством» /А. Г. Дивин, С. В. Пономарев. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 104 с.

4. Ключев, В. В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В. В. Ключева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.

5. Жарковский Б.И. Приборы автоматического контроля и регулирования / Б.И. Жарковский. - М.: Высшая школа, 1989.

Лабораторная работа № 9

Тема. Исследование образцовых деталей методом неразрушающего контроля.

Учебные цели. 1. Закрепление и углубление знаний по устройству и правилам эксплуатации ультразвукового дефектоскопа УД2-12.

2. Привитие навыков работы на измерительных установках.

Структурная схема лабораторной установки и применяемые в ней приборы и оборудование

Схема лабораторной установки включает:

- ИО – испытуемый образец;
- ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь с дифференцированными параметрами;
- УД2-12 – ультразвуковой дефектоскоп.

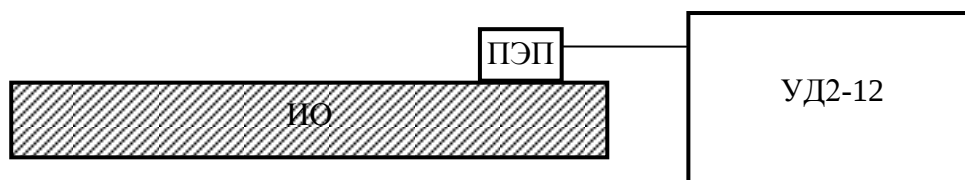


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Компьютерная модель ультразвукового дефектоскопа УД2-12, имитирующая все основные операции работы настоящего дефектоскопа при поиске дефектов.



Рис. 2. Общий вид компьютерной модели
ультразвукового дефектоскопа УД2-12

1. Порядок выполнения работы

Работа проводится в два этапа.

Первый этап – ознакомление с основными блоками, элементами дефектоскопа с использованием оборудования лаборатории под руководством преподавателя или сотрудников лаборатории.

Второй этап – самостоятельное изучение работы дефектоскопа с использованием компьютерной модели (симулятора) дефектоскопа и измерение характеристик дефектов в испытываемых образцах.

2. Методика выполнения работы с использованием дефектоскопа УД2-12

1. Ознакомление с элементами лабораторной установки, запись их номинальных данных и основных метрологических характеристик.
2. Ознакомление с функциональными элементами прибора УД2-12.
3. Сборка схемы лабораторной установки и предъявление собранной установки преподавателю, получение от него разрешения на включение установки.
4. Выполнение чертежа блок-схемы лабораторной установки с указанием используемых ПЭП и рабочих частот.
5. Вычерчивание эскизов исследуемых образцов с указанием координат расположения дефектов.
6. Измерение координат исследуемых образцов и составление таблицы измерений.
7. Предъявление записей с полученными результатами преподавателю и по его указанию либо повторение некоторых измерительных опытов, либо завершение работы и оформление результатов.
8. Оформление отчета по лабораторной работе на специальном бланке и сдача его преподавателю в указанные сроки.

3. Методика выполнения работы с использованием компьютерной модели (симулятора) дефектоскопа УД2-12

1. Включить дефектоскоп, последовательно нажав кнопки «Накал» и «Работа» (см. рис. 3).
2. Используя ползунок, перемещать ПЭП до момента наблюдения на экране дефектоскопа импульс-сигнала от дефекта.
3. Найти такое положение ПЭП, при котором импульс от дефекта имеет максимальную высоту. Если импульс выходит за пределы электронно-лучевой трубки, то использовать кнопки для ослабления сигнала на панели «ОСЛАБЛЕНИЕ, dB».

4. Аналогично, как и при работе с настоящим дефектоскопом, произвести в режимах mmH, mmX, mmY измерения характеристик исследуемого образца (каждой из координат выполненных в образцах дефектов), перемещая ПЭП в прямом и обратном направлениях по три раза, и занести в таблицу показания измерений. Переключение режимов работы осуществляется по нажатию кнопок на панели под индикатором показаний.



Рис. 3. Схема лицевой панели прибора

Таблица

№ опыта	Показатели измерения			
	Координата Н, мм	Координата Х, мм	Координата Y, мм	Погрешность измерений

Примечание. Остановить скачкообразные значения параметров, отображаемых в индикаторе показаний, можно нажатием по нему мышкой. При снятии показаний, внимательно следить в каком режиме находится дефектоскоп в данный момент времени, контролировать по индикации режимов работы справа от индикатора показаний.

5. Измерение координат исследуемых образцов и составление таблицы измерений.

6. Предъявление записей с полученными результатами преподавателю и по его указанию либо повторение некоторых измерительных опытов, либо завершение работы и оформление результатов.

7. Оформление отчета по лабораторной работе на специальном бланке и сдача его преподавателю в указанные сроки.

8. Предъявить результаты измерений преподавателю, выяснить необходимые вопросы.

Основные сведения о неразрушающих методах контроля

Неразрушающие методы исследования предназначены для контроля и оценки характеристик качества материалов, изделий, деталей, сварных соединений или изъятых образцов (без их разрушения) физическими методами с помощью дефектоскопов.

Действие дефектоскопов основано на зависимости некоторых физических величин (акустических, электрических, механических, магнитных и др.) от определенных свойств материалов.

Встречающиеся в изделиях дефекты структуры материала – нарушение его сплошности или однородности, вызывают изменение физических характеристик материала. Регистрация этих изменений (дефектов) составляет основу дефектоскопа. Устанавливаются эти изменения экспериментально для каждого материала, в результате чего устанавливается глубина и координаты залегания дефектов.

Основные преимущества неразрушающего метода исследований, следующие: простота процесса контроля; быстрое получение результатов; возможность многократного повторения испытаний.

Назначение и функциональные возможности прибора УД2-12

Прибор УД2-12 является дефектоскопом общего назначения, что означает следующее:

- он может применяться в различных отраслях (машиностроение, металлургии, энергетике, транспорте и др.);
- пригоден для контроля широкого круга объектов (разнообразной конфигурациями и материалов);
- комплектуется широким набором пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) с дифференцированными параметрами;
- может использоваться в малоканальных установках механизированного контроля.

Прибор УД2-12 относится к дефектоскопам второй группы (цифра «2» в обозначении) сложности, характеризующиеся тем, что реализуются следующие возможности:

- фиксация наличия дефекта;

- измерение амплитуд отраженного сигнала от дефекта;
- определение координат отражателя.

Цифра «12» в обозначении прибора свидетельствует о количестве функциональных блоков дефектоскопа УД2-12.

Блок-схема ультразвукового дефектоскопа УД2-12 представлена на рис. 4.

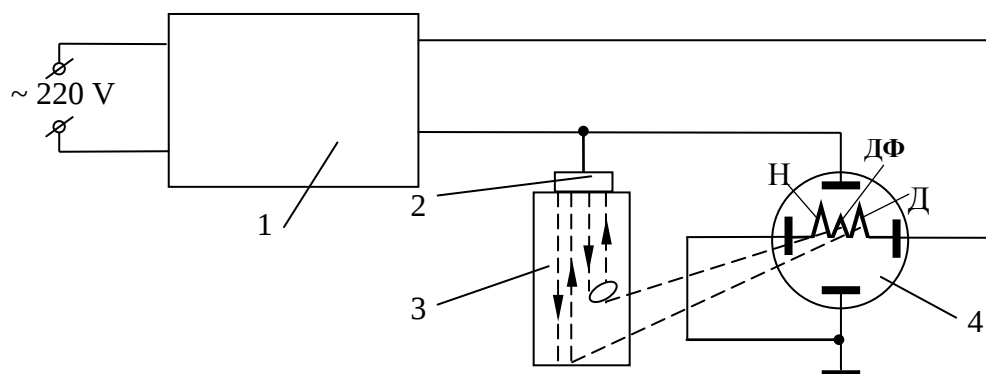


Рис. 4. Блок-схема ультразвукового дефектоскопа УД2-12:
1-функциональные блоки дефектоскопа; 2- пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП); 3- исследуемый образец;
4- электронно-лучевая трубка (ЭЛТ); Н – начальный сигнал;
ДФ - сигнал от дефекта; Д - данный сигнал

Функциональными блоками дефектоскопа являются следующие: выпрямитель (В); стабилизатор напряжения (СН); преобразователь напряжения (ПН); генератор импульсов возбуждения (ГИВ); блок автоматической сигнализации дефекта (АСД); устройство приёмное (УП); измеритель отношений (ИО); блок цифрового отсчёта (БЦО).

Технические характеристики прибора УД2-12

Работает дефектоскоп на частотах: 1,25; 1,8; 2,5; 5,0 и 10,0 МГц. Отклонения частот от номинальных не более $\pm 10\%$.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерения отношения амплитуд сигналов на входе приемника дефектоскопа по цифровому индикатору на частотах 1,25; 1,8; 2,5 и 5,0 МГц – $(0,2 + 0,03N)\text{dB}$, где N – номинальное значение измеряемой величины.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерения дефектоскопа временного интервала – не более $-(0,2 - 0,01 T)$ мкс, где T - интервал времени.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерения отношения амплитуд сигналов (аттенюатора) на входе приемника дефектоскопа – не более $-(0,2 + 0,03 N)$, где N – номинальное значение ослабления аттенюатора.

Абсолютная чувствительность дефектоскопа УД2-12 с ПЭП П-Ш-1; 2,5-K20-002 – не менее 100 dB.

Максимальная чувствительность приемника при нормальных частотах – 150 мкВ.

Отклонение максимальной чувствительности приемника на номинальных частотах – не менее 46 dB.

Эксплуатируется дефектоскоп при температуре окружающей среды от –10 до +50 °С. Верхнее значение относительной влажности 98 % при температуре 35 °С.

Работа дефектоскопа УД2-12

Принцип работы дефектоскопа основан на способности ультразвуковых колебаний (УЗК) распространяться в контролируемых изделиях и отражаться от внутренних дефектов и граней изделий, при этом глубина залегания дефекта определяется по формуле

$$H = \frac{ct}{2},$$

где Н - расстояние от точки ввода УЗК до дефекта, мм;

с - скорость распространения УЗК, мм/мкс;

t – время прохождения УЗК от точки ввода до дефекта и обратно, мкс.

Дефектоскоп реализует эхо-метод, теневой и зеркально–теневой методы оценки качества изделий.

Работает дефектоскоп УД-12 в следующих режимах:

- режим dB – измерение отношения входных амплитуд сигналов, в dB;
- mmН – измерение глубины залегания дефекта в миллиметрах при работе с совмещенным ПЭП;
- режим mmХ – измерение Х – координаты дефекта в миллиметрах при работе с наклонным ПЭП;
- режим mmУ – измерение У – координаты (глубина залегания) дефекта в миллиметрах при работе с наклонным ПЭП;
- режим в мкс – измерение временного интервала электрических импульсов;
- дежурный режим – напряжение питания подается только на канал ЭЛТ (данный режим применяется при частой смене объектов контроля и рабочих мест).

Подготовка к работе дефектоскопом УД2-12

Все действия по подготовке к работе прибора УД2-12 производятся лаборантом (учебным мастером) в соответствии с п.п.6 и 7 «Руководства по эксплуатации дефектоскопа ультразвукового УД2-12».

3. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на специальном бланке, который выдается студенту перед началом выполнения работы.

В бланке отчета должны быть отражены следующие вопросы:

1. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.
2. Название (тема) работы.
3. Учебные цели работы.
4. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их технические и метрологические характеристики.
5. Вопросы, подлежащие исследованию.
6. Таблицы опытных и расчетных данных.
7. Графики и диаграммы.
8. Выводы по работе.
9. Оценка отчета по работе и дата его защиты.
10. Подписи преподавателя и студента.

Оформление отчета по лабораторной работе складывается из двух этапов – подготовительного и рабочего.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в часы самостоятельных занятий в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы, определиться в графиках исследуемых зависимостей.

На рабочем этапе, при проведении лабораторной работы, студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования и схемы лабораторной установки, заполнить таблицу опытных и расчетных данных, построить необходимые выводы по работе.

Защита отчета по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

4. Контрольные вопросы

1. Методы неразрушающего контроля изделий, деталей и др.
2. Область применения методов неразрушающего контроля.
3. Основные функциональные элементы дефектоскопа УД2-12 и их назначение.
4. Принцип действия прибора УД2-12.
5. Основные характеристики и параметры прибора УД2-12.
6. Нормируемые метрологические характеристики прибора УД2-12.
7. Анализ результатов контроля качества исследуемого образца.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Душина Ж.В. Физические основы ультразвуковой дефектоскопии и технология ультразвукового контроля деталей подвижного состава – М.: УМК МПС РФ, 2000. – 102 с.
3. Ильин В.А., Батунер А.П., и др. Новые приборы неразрушающего контроля: (дефектоскопы УД-11ПУ, УД2-12,ДИ-4) М.: Транспорт, 1990. – 61 с.
4. Сучков Г.М. Акустический контроль: учеб. пособ./ Г.М. Сучков, Е.Л. Ноздрачева.– Х.: НТУ «ХПИ», 2013. – 138 с.
5. Ультразвуковой контроль. Часть 1: Методические указания к лабораторным работам / Р. А. Ахмеджанов, В. В. Макаровичкин, В. Ф. Соколов; Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2004. – 47 с.

Лабораторная работа № 10

Тема. Измерение геометрических величин и обработка результатов прямых равнорассеянных (равноточных) наблюдений.

Учебные цели. 1. Углубление знаний и практическое изучение метода обработки результатов прямых равнорассеянных (равноточных) измерений при определении длины общей нормали эвольвентного зубчатого колеса (ЗК).

2. Приобретение навыков работы с используемыми средствами измерительной техники (СИТ).

1. Подготовка к лабораторной работе

В процессе подготовки к лабораторной работе необходимо:

- изучить теоретические основы метода измерения длины общей нормали эвольвентного зубчатого колеса (ЗК);
- изучить методику обработки результатов прямых равнорассеянных (равноточных) наблюдений;
- ознакомиться с устройством СИТ эвольвентных зубчатых колес (ЗК);
- ознакомиться с принципом действия нормалемера и приемами, используемыми при нахождении длины общей нормали эвольвентного ЗК.

2. Краткое теоретическое обоснование метода

Прямыми называются измерения, при которых искомое значение ФВ находят непосредственно из опытных данных [1].

Результаты наблюдений $x_1, x_2, \dots, x_n$ называются **равнорассеянными (равноточными)**, если они являются независимыми, одинаково распределенными случайными величинами (СВ).

Равнорассеянные результаты получают при измерениях, проводимых одним наблюдателем или группой наблюдателей с помощью одних и тех же методов и СИТ в неизменных условиях внешней среды.

Для уменьшения влияния случайных погрешностей (СП) прямые измерения осуществляют путем многократных наблюдений с последующей обработкой их для определения таких параметров распределения, как математическое ожидание (МО), среднеквадратическое отклонение (СКО), а также проверки нормальности распределения результатов, отсутствия грубых погрешностей (или промахов) и т.д. и итогового результата при доверительной вероятности $P = 0,95$ или $P = 0,99$, если измерения повторить нельзя.

Длиной общей нормали W эвольвентного ЗК называется расстояние между разноименными эвольвентными профилями двух или более зубьев,

измеренное по касательной к основной окружности, разверткой которой и является эвольвента [5] (рис. 1).

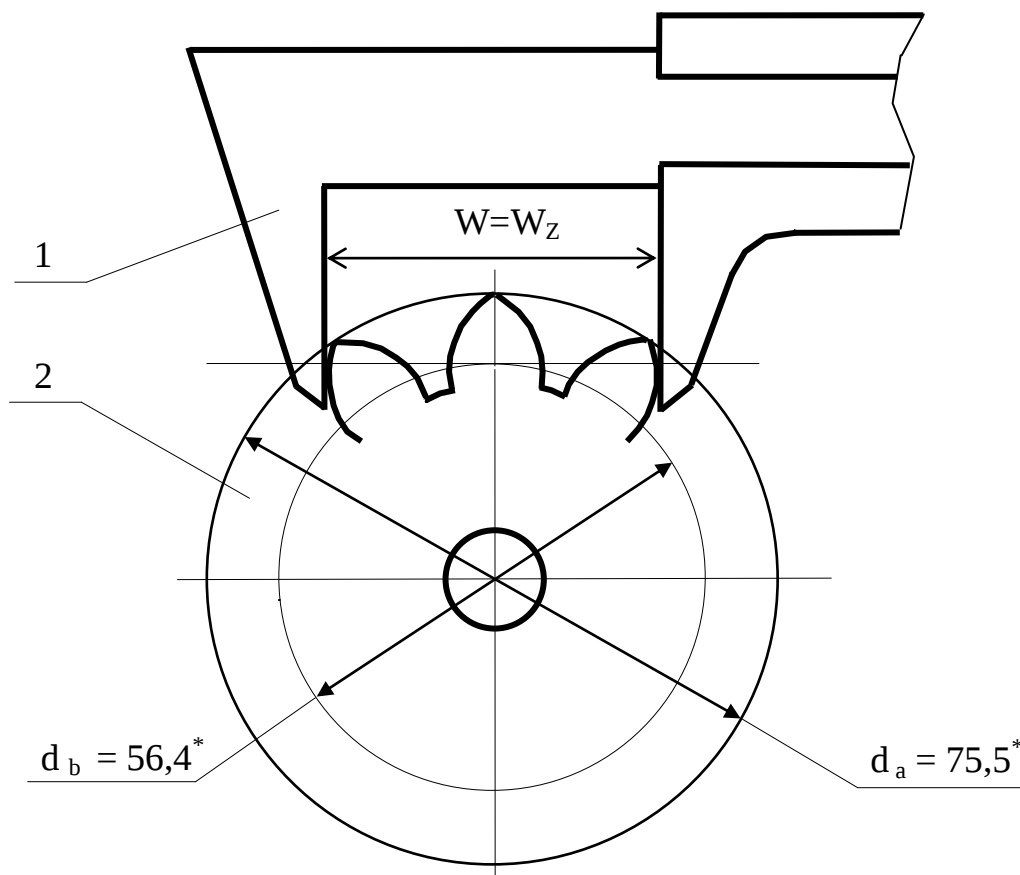


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки.

* Размеры для справок

Лабораторная установка включает следующие элементы:

- 1 – СИТ;
- 2 – объект измерения – эвольвентное ЗК;
- d_b и d_a – диаметры основной и наружной окружностей эвольвентного ЗК.

Для измерения длины общей нормали служит **нормалемер** (рис. 2), представляющий собой СИТ, аналогичное индикаторной скобе, т.е. снабженное двумя наконечниками, измерительные поверхности которых выполнены в форме плоскостей, перпендикулярных линии измерения.

Один из измерительных наконечников 1 остается неподвижным в процессе измерения, а другой – подвижный 2 и связанный с указателем отсчетного устройства 3 и шкалой с ценой деления 0,001...0,002 мм.

Заметим, что длину общей нормали, вообще говоря, можно определить с помощью зубомерного микрометра ГОСТ 6507–90 (рис. 3) или штангенциркуля ГОСТ 166–89.

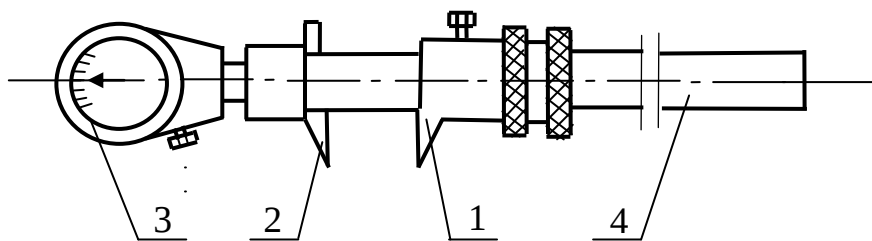


Рис. 2. Нормалер: 1 – неподвижный измерительный наконечник; 2 – подвижный измерительный наконечник; 3 – отсчетное устройство; 4 - штанга

Обязательным условием использования указанных СИТ является возможность размещения измерительных наконечников во впадинах между зубьями измеряемого ЗК. Понятно, что точность измерения длины общей нормали эвольвентного ЗК с помощью штангенциркуля (или зубомерного микрометра) будет ниже, чем при использовании нормалера, что отразится на увеличении доверительного интервала для истинного значения измеряемой величины.

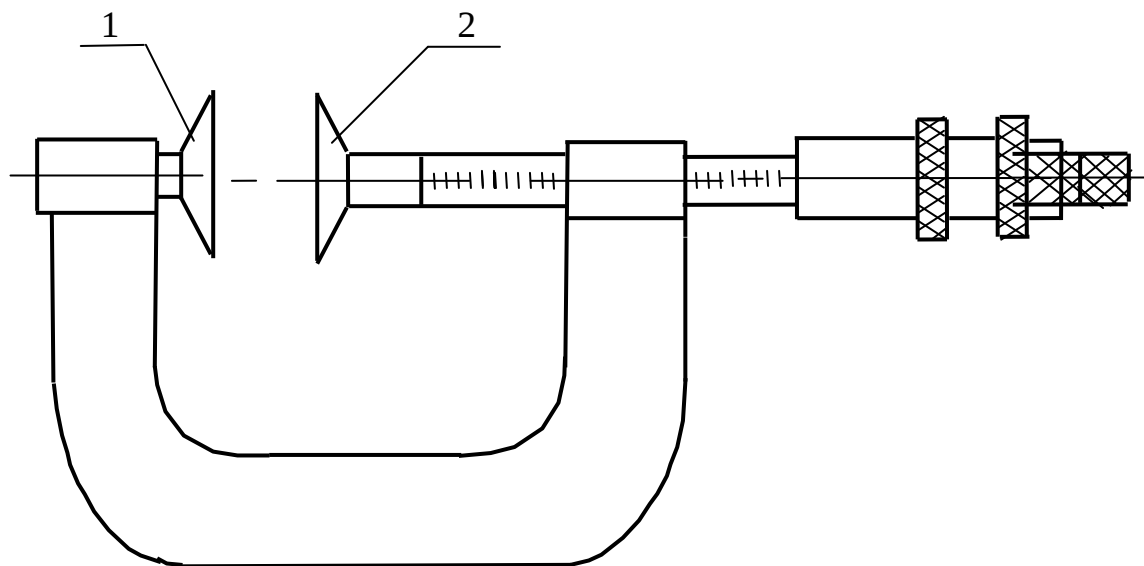


Рис. 3. Зубомерный микрометр: 1–неподвижный измерительный наконечник (диск); 2 - подвижный измерительный наконечник (диск)

3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Перед началом измерений нормалер настраивают на известное номинальное значение длины общей нормали с помощью блока плоскопараллельных концевых мер длины (например, из набора № 3, ГОСТ 9038-90), который помещают между измерительными поверхностями. При этом указатель отсчетного устройства (стрелку) устанавливают на нуль, т.е. используется нулевой метод измерения.

В процессе измерения нормалемер накладывают на измеряемое ЗК таким образом, чтобы его измерительные поверхности охватывали разноименные (левый и правый) эвольвентные профили этого ЗК. Затем путем покачивания СИТ вокруг оси измеряемого ЗК обкатывают измерительными поверхностями левый и правый профили зубьев и находят такое положение нормалемера, при котором отклонение от нуля будет минимальным. Считывают со шкалы это отклонение с соответствующим знаком и, сложив с номинальным значением, записывают его как i -й результат. Таким способом производят измерение длины общей нормали W_i , переходя последовательно по всем (или части) зубьям измеряемого ЗК и записывая результаты в табл. 2.

2. После изучения разделов 1, 2 и п. 1 приступают к заполнению бланка отчета по лаб. работе в той последовательности, которая в нем приведена.

Первую страницу отчета заполняют в соответствии с указанными на ней разделами. При этом в разделе «Краткое теоретическое обоснование метода» приводят сведения из раздела 2 настоящего описания. На поле страницы 2 вверху помещают эскиз принципиальной схемы лабораторной установки (рис. 1).

В разделе «Данные приборов и основных элементов лабораторной установки» заполняют табл. 1: 1 - наименование СИТ и его МХ, указанные в бланке отчета; 2 - наименование объекта измерения – эвольвентное ЗК № __.

Таблица 1

Данные приборов и основных элементов лабораторной установки

№ п/п	Наименование прибора, элемента	Тип прибора	Пределы измерения прибора	Цена деления		Кл. точ. прибора	Положение прибора	Другие данные		
				Основной шкалы	Нопи-уса					
1										
2										

В разделе «Основные расчетные формулы» приводят формулы, необходимые для обработки результатов измерений и оценки погрешностей (см. раздел 4).

На странице отчета строят график изменения отклонения от СА в функции номера опыта, т.е.

$$V_i = f(i) \quad (1.1)$$

и приводят выводы по проделанной лабораторной работе с указанием доверительного интервала и итогового результата измерений.

Таблица 2

Результаты измерений и их обработка

№ п/п	i	№ охват. зубьев	W'_i , мм	$W_i = W_i^1 - \Delta_c$, мм	$V_i = W_i - \bar{W}$, мм	$V_i^2 \cdot 10^{-4}$, мм ²		
	1	1-2-3						
	2	2-3-4						
	3	3-4-5						
	4	4-5-6						
	5	5-6-7						
	6	6-7-8						
	7	7-8-9						
	8	8-9-10						
	9	9-10-11						
	10	10-11-12						
	11	11-12-1						
	12	12-1-2						
				$\bar{W} =$	$\sum V_i =$	$\sum V_i^2 =$		

4. Обработка результатов измерений

В соответствии с ГОСТ Р 8.736-11 [2] обработку результатов прямых равнорассеянных наблюдений производят в таком порядке:

1 Путем введения известных поправок $q_i = -\Delta_{ci} = -\Delta_c = \text{const}$ исключают постоянную **систематическую** погрешность Δ_c из полученных результатов, т.е. находят **исправленные** результаты измерений.

При этом Δ_c назначают из выпускного аттестата используемого СИТ или другого нормативного документа (НД)

$$x_i = W_i = W'_i - \Delta_c. \quad (1.2)$$

2. Вычисляют среднее арифметическое $CA = \bar{x} = \bar{W}$ исправленных результатов измерений, которое принимают за **оценку математического ожидания (МО)** и **истинного** значения измеряемой величины

$$\tilde{M}[x] = \tilde{W} = \bar{x} = \bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1.3)$$

3. Находят отклонения от среднего арифметического **СА** $V_i = W_i - \bar{W}$.

4. Вычисляют **оценку среднего квадратического отклонения (СКО)** отдельного результата $S_x = S_w$ и **оценку среднего квадратического отклонения СА** $S_{\bar{x}} = S_{\bar{W}}$ по формулам

$$S_w = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n V_i^2}; \quad (1.4)$$

$$S_{\bar{w}} = \frac{S_w}{\sqrt{n}}. \quad (1.5)$$

5. Проверяют гипотезу о нормальности распределения результатов наблюдений. Если $n \geq 40$, используют критерий χ_k^2 Пирсона, при $15 < n < 40$ - статистическую функцию распределения $F_n(x_k) = \Phi(z)$. При $n \leq 15$ нормальность распределения не проверяют.

6. Проверяют наличие **грубых погрешностей** или **промахов** с использованием критерия V_α , а именно

$$V < V_\alpha, \quad (1.6)$$

где V вычисляют по формулам

$$V = \frac{W_{\max} - \bar{W}}{S_w} \quad \text{или} \quad V = \frac{\bar{W} - W_{\min}}{S_w}, \quad (1.7)$$

а V_α находят из табл. 3 ([1], [7]) при доверительной вероятности $P = \alpha = 0,95$ или уровне значимости q , равном

$$q = 1 - \alpha, \quad (1.8)$$

и при обнаружении таковых соответствующие результаты отбрасывают и повторяют вычисления уже без них.

7. Вычисляют доверительные границы случайной погрешности результата измерений при доверительной вероятности $P = 0,95$ или $P = 0,99$, если измерения в дальнейшем повторить нельзя (или экономически нецелесообразно), т.е.

$$\Delta_P = t_P S_{\bar{w}}, \quad (1.9)$$

где t_P находят из табл. 4 [1], [7]) по числу степеней свободы k

$$k = n - 1 \quad (1.10)$$

и $P = 0,95$ (или $P = 0,99$).

8. Итоговый результат измерений записывают в виде

$$W = \bar{W} \pm \Delta_P; P = 0,95 \text{ (или } P = 0,99) \quad (1.11)$$

Таблица 3

Значения v_α при различных числах измерения n

n	$q = 1 - \alpha$			
	0,10	0,05	0,025	0,01
3	1,406	1,412	1,414	1,414
4	1,645	1,689	1,71	1,723
5	1,731	1,869	1,917	1,955
6	1,894	1,996	2,067	2,130
7	1,974	2,093	2,182	2,265
8	2,041	2,172	2,273	2,374
9	2,097	2,237	2,349	2,464
10	2,146	2,294	2,414	2,540
11	2,190	2,343	2,470	2,606
12	2,229	2,378	2,519	2,663
13	2,264	2,426	2,562	2,714
14	2,297	2,461	2,602	2,759
15	2,326	2,493	2,638	2,809
16	2,354	2,523	2,670	2,837
17	2,380	2,551	2,701	2,871
18	2,404	2,577	2,728	2,903
19	2,426	2,601	2,754	2,932
20	2,447	2,623	2,778	2,959
21	2,467	2,644	2,801	2,984
22	2,486	2,664	2,823	3,008
23	2,504	2,683	2,843	3,030
24	2,520	2,701	2,862	3,051
25	2,537	2,717	2,880	3,071

Таблица 4

Распределение Стьюдента $P\{|t| < t_p\} = 2 \int_0^{t_p} S(t:k) dt$

k	P												
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,62
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,597

k	P												
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,91	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
∞	0,12566	0,25335	0,38532	0,52440	0,67449	0,84162	1,03643	1,28155	1,64485	1,95996	2,32634	2,57582	

5. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на специальном бланке, который выдается каждому студенту за несколько дней до проведения лабораторных занятий.

Оформление отчета по лабораторной работе складывается из двух этапов – подготовительного и рабочего.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в часы самостоятельных занятий в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы.

На рабочем этапе, при проведении лабораторной работы студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки, заполнить таблицы опытных и расчетных данных, оценить погрешности и сделать выводы по лабораторной работе.

В выводах необходимо оценить погрешности результатов измерений и определить их доверительные границы. Отчет по проделанной работе заполняется индивидуально каждым студентом.

6. Контрольные вопросы

1. Что называется прямыми измерениями?
2. Что называется прямыми равнорассеянными измерениями?
3. Как получают равнорассеянные результаты?
4. Можно ли исключить или уменьшить влияние СП на результат измерения?
5. Что называется длиной общей нормали эвольвентного ЗК?
6. Какие СИ длины общей нормали эвольвентного ЗК вы знаете?
7. Что служит оценкой МО результатов измерений?
8. Напишите выражения для оценки СКО и СКО СА.
9. Критерий отсутствия грубых погрешностей или промахов.
10. Что называется доверительной границей погрешности результата измерений?
11. Как записать итоговый результат измерений?
12. Свойства отклонения от СА.
13. Чем погрешность измерения отличается от погрешности округления? Приведите примеры.

Литература

1. Бурдун Г.Д. Основы метрологии / Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков. - М.: Изд-во стандартов, 1985. – 256 с.
2. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.
3. Малахов Е.Л. Лабораторный практикум по метрологии: учеб. пособие / Е.Л. Малахов, Е.Н. Сычёв, Н.П. Михайлов. – Севастополь: СКУАЭИП, 2006. – 42 с.
4. Малахов Е.Л. Основы теоретической метрологии: учеб. пособие / Е.Л. Малахов, К.Н. Маловик, Е.Н. Сычёв. - Севастополь: СКУАЭИП, 2006. – 148 с.
5. Контроль точности зубчатых колес: Метод. указания к лабораторной работе / Попов И.Г., Шабалин Ю.А. – Самара: Самарский гос. аэрокосм. ун-т, 2008. – 21 с.
6. Тростин А.Н., Царев Ю.В. Оценка точности результатов измерений: Учебное пособие для студентов дневной формы обучения по направлению

подготовки: 270301 Стандартизация и метрология. — Иваново: ИГХТУ, 2014. — 42 с.

7. Рудзит Я.А. Основы метрологии, точность и надежность в приборостроении / Я.А. Рудзит, В.Н. Путалов. - М.: Машиностроение, 1991. - 303 с.

Лабораторная работа № 11

Тема. Измерение сопротивления постоянному току косвенным методом.

1. Учебные цели

1. Экспериментальная проверка косвенного метода измерения сопротивления постоянному току.
 2. Приобретение практических навыков по сборке схемы измерения сопротивления постоянному току косвенным методом.
 3. Проведение измерительного эксперимента в целях получения необходимых данных для расчета сопротивления постоянному току.
 4. Расчет измеренных значений сопротивлений постоянному току $R_{\text{изм}}$ для двух вариантов схем соединения амперметров и вольтметров относительно нагрузки.
 5. Использование в качестве измеряемых пять постоянных значений сопротивлений: $R_{\text{д}} = 500; 600; 700; 800$ и 900 Ом, устанавливаемых на магазине сопротивлений и являющихся действительными значениями по отношению к измеренным сопротивлениям $R_{\text{изм}}$.
 6. Определение относительных погрешностей δ измерения $R_{\text{д}}$ каждой измерительной схемой.
 7. Построение зависимостей $\delta = f(R_{\text{д}})$ при $U = \text{const}$ для каждой измерительной схемы и определение, какая из них является более точной.
- В результате проведения лабораторной работы студенты должны

ЗНАТЬ:

1. Схемы включения приборов при измерении сопротивления постоянному току косвенным методом.
2. Закон электротехники, на котором базируется косвенный метод измерения сопротивления постоянному току.
3. Составляющие суммарной погрешности, которые учитываются при анализе этих схем.

УМЕТЬ:

1. Подбирать необходимые приборы и оборудование, собирать схемы при измерении сопротивления постоянному току косвенным методом.
2. Определять основные метрологические и электрические характеристики применяемых приборов.
3. Проводить измерительный эксперимент и получать необходимые данные для расчета сопротивления постоянному току.
4. Рассчитывать измеряемое сопротивление постоянному току косвенным при любых его значениях и при любом значении питающего напряжения.

5. Определять погрешности измерения сопротивления постоянному току для всех измерительных опытов.

2. Порядок и методика выполнения работы

1. Ознакомиться с элементами лабораторной установки, занести их основные метрологические и технические характеристики в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование прибора	Тип, система прибора	Пределы измерения прибора	Цена деления прибора	Класс точности прибора	Рабочее положение прибора	Другие данные

2. Собрать схему лабораторной установки.

3. Предъявить собранную схему преподавателю (инженеру) в целях правильности ее сборки и получить от него разрешение на включение лабораторной установки под напряжение.

4. Установить переключатель П в положение 1.

5. Установить в магазине сопротивлений $R_d = 500 \text{ Ом}$.

6. С помощью блока питания БП и реостата R подать рекомендуемое преподавателем напряжение U на измерительную схему лабораторной установки, контролируя его величину по вольтметру V .

7. Снять показание миллиамперметра I_{mA1} .

8. Значения показаний вольтметра, миллиамперметра и $R_d = 500 \text{ Ом}$ занести в табл. 2.

Таблица 2

V , В	R_d , Ом	I_{mA1} , мА	I_{mA2} , мА	$R_{изм1}$, Ом	$R_{изм2}$, Ом	ΔR_{d1} , Ом	ΔR_{d2} , Ом	δ_{d1} , %	δ_{d2} , %

9. Провести еще четыре опыта, устанавливая в магазине сопротивлений значения $R_d = 600; 700; 800$ и 900 Ом поочередно, обеспечивая с помощью реостата R постоянство питающего напряжения U . Внести в таблицу 2 показания миллиамперметра I_{mA1} и значения R_d для каждого измерительного опыта.

10. Установить переключатель П в положение 2 и провести пять измерительных опытов, аналогичных положению переключателя 1, с последующим внесением результатов измерений в таблицу 2.

11. Используя результаты измерения, полученные двумя измерительными схемами, рассчитать для каждого измерительного опыта измеренные значения сопротивлений R_d по формулам

$$R_{\text{изм1}} = \frac{U}{I_{mA1}}; \quad R_{\text{изм2}} = \frac{U}{I_{mA2}}.$$

Абсолютные погрешности их измерения по формулам

$$\Delta R_{д1} = R_{д} - R_{\text{изм1}}; \quad \Delta R_{д2} = R_{д} - R_{\text{изм2}}.$$

Относительные погрешности их измерения по формулам

$$\delta_{\theta_1} = \frac{\Delta R_{д1}}{R_{д}} \cdot 100\%; \quad \delta_{\theta_2} = \frac{\Delta R_{д2}}{R_{д}} \cdot 100\%.$$

12. Результаты рассчитанных измеренных сопротивлений, абсолютных и относительных погрешностей их измерений внести в таблицу 2.

13. Построить графические зависимости $\delta = f(R_{д})$ при $U = \text{const}$ для обеих измерительных схем и сделать вывод какая из них точнее для исследуемого диапазона значений измеряемых сопротивлений.

14. Оформить на специальном бланке отчет по лабораторной работе и защитить его у преподавателя в указанные сроки.

Схема лабораторной установки и применяемые в ней приборы и устройства

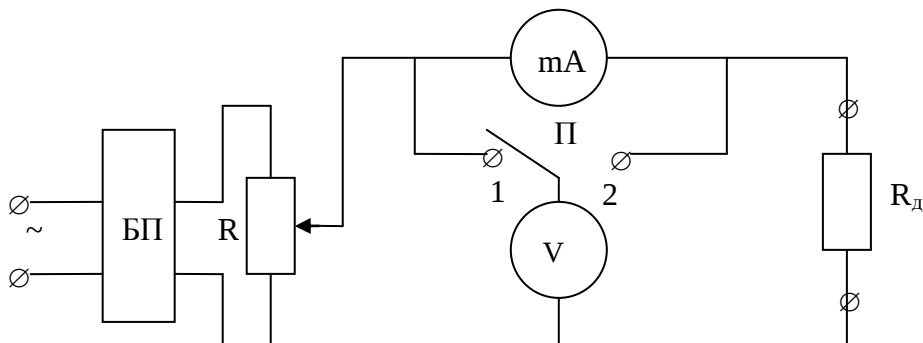


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

1. БП – блок питания постоянного тока; 2. R – ползунковый реостат трехзжимный; 3. mA – миллиамперметр магнитоэлектрической системы; 4. V – вольтметр постоянного тока магнитоэлектрической системы; 5. П – переключатель двухполюсный; 6. R_д – магазин сопротивлений

3. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на специальном бланке, который выдается каждому студенту за несколько дней до проведения лабораторных занятий. В бланке должны быть отражены:

1. Название (тема) работы.
2. Учебные цели работы.
3. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.
4. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их основные технические и метрологические характеристики.
5. Вопросы, подлежащие исследованию.
6. Таблица опытных и расчетных данных.
7. Графики и диаграммы.
8. Расчетные формулы и вычисления.
9. Выводы по работе.
10. Оценка отчета по работе и дата его защиты.
11. Подписи преподавателя и студента.

Оформление отчета по лабораторной работе складывается из двух этапов – подготовительного и рабочего.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в часы самостоятельных занятий в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы, приготовить таблицы для экспериментальных и расчётных данных, нарисовать оси для графиков.

На рабочем этапе студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки, заполнить таблицу экспериментальных и расчетных данных, построить графики, записать результаты анализа полученных данных.

В выводах необходимо сравнить практически проверенные методы измерения сопротивлений, указать их преимущества и недостатки.

Отчет по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

4. Контрольные вопросы

1. На каком законе электротехники базируется измерения сопротивлений постоянному току методом амперметра-вольтметра?
2. Какие существуют схемы включения приборов при измерении сопротивлений постоянному току методом амперметра-вольтметра?
3. Какая из рассматриваемых схем обеспечивает большую точность измерений?
4. По какому критерию определяется более высокая точность измерений?
5. Какие составляющие суммарной погрешности учитываются при анализе этих схем?

6. Для каких значений измеряемых сопротивлений целесообразно применять каждую из рассматриваемых схем?

7. Влияет ли величина питающего схему напряжения на результаты эксперимента по измерению сопротивления постоянному току?

Литература

1. Александров Е.П. Лабораторные работы по курсу «Электрические измерения» / Е.П. Александров. – Севастополь: СВВМИУ, 1978.

2. Атамаян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Дрофа, 2005. – 415 с.

3. Конспект лекций.

Лабораторная работа № 12

Тема. Измерение параметров катушки индуктивности косвенным методом.

1. Учебные цели

1. Экспериментальная проверка косвенного метода измерения параметров катушки индуктивности.
2. Приобретение практических навыков по сборке схемы измерения параметров катушки индуктивности косвенным методом.
3. Проведение измерительного эксперимента в целях получения необходимых данных для расчета параметров катушки индуктивности.
4. Определение абсолютных и относительных погрешностей измерения параметров катушки индуктивности косвенным методом.
5. Анализ полученных экспериментальных и расчётных данных.

В результате проведения лабораторной работы студенты должны

ЗНАТЬ:

1. Какие параметры катушки индуктивности измеряются в работе косвенным методом.
2. Схему включения приборов при измерении параметров катушки индуктивности косвенным методом.
3. Закон электротехники, на котором базируется косвенный метод измерения параметров катушки индуктивности.
4. Составляющие суммарной погрешности, которые учитываются при анализе результатов эксперимента.

УМЕТЬ:

1. Подбирать необходимые приборы и оборудование, собирать схему лабораторной установки для измерения параметров катушки индуктивности косвенным методом.
2. Определять основные метрологические и электрические характеристики используемых приборов.
3. Проводить измерительный эксперимент и получать данные, необходимые для расчета параметров катушки индуктивности при реализации косвенного метода.
5. Определять погрешности измерения параметров катушки индуктивности и факторы, влияющие на их величину.

2. Порядок и методика выполнения работы

1. Ознакомиться с элементами лабораторной установки, занести их основные метрологические и технические характеристики в таблицу.

Таблица

№ п/п	Наименование прибора	Тип, система прибора	Пределы измерения прибора	Цена деления прибора	Класс точности прибора	Рабочее положение прибора	Другие данные

2. Собрать схему лабораторной установки.

3. Предъявить собранную схему преподавателю (инженеру) в целях правильности ее сборки и получить от него разрешение на включение лабораторной установки под напряжение.

4. Включить схему лабораторной установки под напряжение. С помощью регулятора автотрансформатора снизить напряжение до нуля.

5. Проверить положение стрелок измерительных приборов, которые должны быть на нулевых отметках шкал, и в случае необходимости отрегулировать при помощи корректоров.

6. Плавное увеличение напряжения с помощью автотрансформатора довести его до значения, установленного преподавателем.

7. Снять показание ваттметра и амперметра.

8. Произвести вычисления по формулам

$$R_{\text{изм}} = \frac{W}{I^2}, Z = \frac{U}{I}, X_L = \sqrt{Z^2 - R_{\text{изм}}^2}, L_{\text{изм}} = \frac{X_L}{2\pi f},$$

где $R_{\text{изм}}$ – измеренное значение активного сопротивления катушки индуктивности;

$L_{\text{изм}}$ – измеренное значение индуктивности катушки;

W, I, U – показания ваттметра, амперметра и вольтметра соответственно;

Z – полное сопротивление катушки индуктивности;

X_L – индуктивное сопротивление катушки.

9. Произвести вычисления абсолютных и относительных погрешностей измерения параметров катушки индуктивности по формулам

$$\Delta R = R_{\text{д}} - R_{\text{изм}}; \Delta L = L_{\text{д}} - L_{\text{изм}}; \delta_R = \frac{\Delta R}{R_{\text{д}}} \cdot 100\%; \delta_L = \frac{\Delta L}{L_{\text{д}}} \cdot 100\%,$$

где ΔR и ΔL – абсолютные погрешности измерения параметров катушки индуктивности;

δ_R и δ_L – относительные погрешности измерения параметров катушки индуктивности;

$R_{\text{д}}$ и $L_{\text{д}}$ – действительные значения параметров катушки.

10. Предъявить результаты расчетов преподавателю (инженеру) и по его указанию либо повторить некоторые измерительные опыты, либо разобрать схему лабораторной установки.

11. Сделать выводы по проделанной работе.

12. Оформить на специальном бланке отчет по лабораторной работе и защитить его у преподавателя в указанные сроки.

Схема лабораторной установки и применяемые в ней приборы и устройства

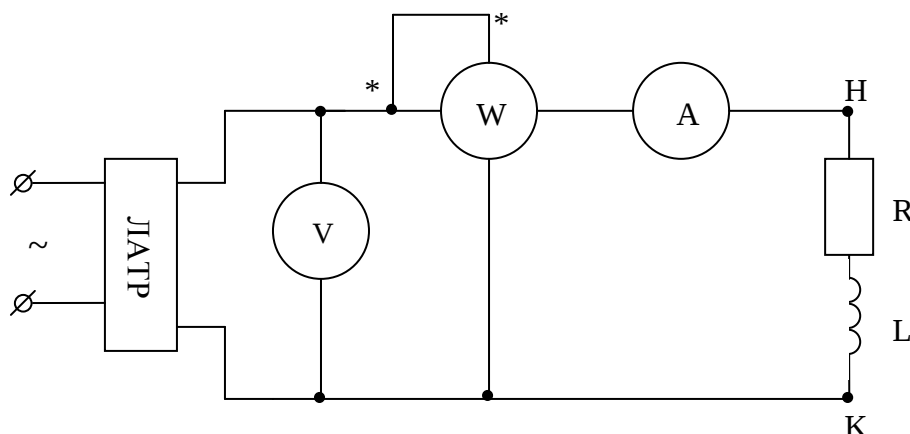


Рис. 1. Схема лабораторной установки включает:

1. ЛАТР – лабораторный автотрансформатор;
2. V, A – вольтметр и амперметр электромагнитной системы;
3. W – ваттметр ферродинамической системы; 4. Исследуемая катушка индуктивности с параметрами R (активное сопротивление) и L (индуктивность); 5. H, K – начало и конец катушки соответственно

3. Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе выполняется на специальном бланке, который выдается каждому студенту за несколько дней до проведения лабораторных занятий. В бланке должны быть отражены:

1. Название (тема) работы.
2. Учебные цели работы.
3. Фамилия студента, класс и дата выполнения работы.
4. Схема лабораторной установки, применяемые в ней приборы и оборудование, их основные технические и метрологические характеристики.
5. Вопросы, подлежащие исследованию.
6. Таблица опытных и расчетных данных.
7. Графики и диаграммы.
8. Расчетные формулы и вычисления.
9. Выводы по работе.
10. Оценка отчета по работе и дата его защиты.
11. Подписи преподавателя и студента.

Оформление отчета по лабораторной работе складывается из двух этапов – подготовительного и рабочего.

На подготовительном этапе студент должен заполнить в часы самостоятельных занятий в бланке отчета тему и учебные цели работы, свою фамилию, класс, нарисовать схему лабораторной установки, перечислить вопросы, подлежащие исследованию, записать расчетные формулы, приготовить таблицы для экспериментальных и расчётных данных, нарисовать оси для графиков.

На рабочем этапе студент обязан записать в соответствующие разделы бланка основные технические и метрологические характеристики приборов и оборудования схемы лабораторной установки, заполнить таблицу экспериментальных и расчетных данных, записать результаты анализа полученных данных.

В выводах необходимо оценить относительную погрешность измерения параметров катушки индуктивности косвенным методом, отметить его недостатки.

Отчет по проделанной работе производится индивидуально каждым студентом.

4. Контрольные вопросы

1. Какие приборы необходимы для измерения параметров катушки индуктивности косвенным методом?
2. Как включается катушка индуктивности в схеме лабораторной установки?
3. Где имеется информация о действительных значениях параметров катушки индуктивности?
4. Каким элементом схемы лабораторной установки осуществляется регулирование величины питающего схему напряжения?
5. По какой формуле рассчитывается абсолютная погрешность измерения активного сопротивления катушки индуктивности?
6. По какой формуле рассчитывается абсолютная погрешность измерения индуктивности катушки?
7. По каким формулам рассчитываются относительные погрешности измерения параметров катушки индуктивности?
8. Какими недостатками обладает косвенный метод измерения параметров катушки индуктивности?
9. Из каких составляющих складывается погрешность измерения параметров катушки индуктивности косвенным методом?

Литература

1. Александров Е.П. Лабораторные работы по курсу «Электрические измерения» / Е.П. Александров. – Севастополь: СВВМИУ, 1978.
2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Дрофа, 2005. – 415 с.
3. Конспект лекций.

МЕТРОЛОГИЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Методические указания
по лабораторным работам**

Составители: **Бариева** Елена Федоровна,
Тяпкина Валентина Александровна

В авторской редакции

Изд. № 168/18. Объем 6,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»