

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра электропривода и автоматизации

Составитель
А. Г. ЗАХАРОВА

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Методические указания к лабораторным работам
для обучающихся всех форм обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления
подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
в качестве электронного издания для использования
в образовательном процессе

Кемерово 2018

Рецензенты

Шаулева Н. М. – доцент кафедры электропривода и автоматизации
Семыкина И. Ю. – председатель учебно-методической комиссии
направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Захарова Алла Геннадьевна

Измерительная техника: методические указания к лабораторным работам [Электронный ресурс]: для обучающихся направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения / сост.: А. Г. Захарова; КузГТУ. – Кемерово, 2018. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Представлено содержание лабораторных работ по дисциплине «Измерительная техника», по каждой лабораторной работе приведены цели и задачи, общие сведения об изучаемом материале, задания для выполнения, вопросы для самопроверки и список рекомендуемой литературы.

© КузГТУ, 2018
© Захарова А. Г.,
составление, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1: ПОВЕРКА	
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ФАЗОМЕТРА	5
1.1. Общие сведения	5
1.1.1. Измерение сдвига фаз методом трех приборов.....	6
1.1.2. Измерение сдвига фаз с помощью электродинамического фазометра	7
1.2. Приборы и оборудование для измерения коэффициента мощности	10
1.3. Последовательность выполнения работы.....	11
1.4. Содержание отчёта о работе.....	12
1.5. Вопросы для самопроверки	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2: ОДНОФАЗНЫЕ СЧЕТЧИКИ	
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	13
2.1. Общие сведения	13
2.1.1. Устройство и принцип действия однофазного индукционного счётчика.....	14
2.1.2. Устройство и принцип действия однофазного электронного счетчика энергии	21
2.2. Приборы и оборудование	23
2.3. Схема установки для измерения	23
и поверки однофазных счётчиков.....	23
2.4. Порядок выполнения работы	24
2.4.1. Поверка методом ваттметра и секундомер	24
2.4.2. Поверка методом образцового счетчика.....	26
2.5. Содержание отчёта о работе	27
2.6. Вопросы для самопроверки.....	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-	
ЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ.....	28
3.1. Общие сведения	28
3.1.1. Метод интерференционных фигур.....	29
3.1.2. Параметры импульса.....	30
3.2. Описание оборудования	32
3.3. Последовательность выполнения работы.....	38
3.3.1. Определение параметров импульса по осциллограмме.....	38
3.3.2. Определение частоты и фазы периодических сигналов по фигурам Лиссажу.....	39
3.4. Содержание отчёта о работе	41
3.5. Вопросы для самопроверки.....	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4: МОСТЫ ПОСТОЯННОГО И	
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	42

4.1. Общие сведения	42
4.1.1. Общая теория мостовых схем	42
4.1.2. Измерительный мост постоянного тока Р4053.....	48
4.2. Порядок работы с мостом Р4053.....	52
4.2.1. Измерение сопротивлений до 10^2 ом	52
4.2.2. Измерение сопротивлений от 10^2 до 10^5 ом	52
4.2.3. Измерение сопротивлений от 10^5 до 10^{12} ом	53
4.2.4. Измерение сопротивлений от 10^{12} ом и выше	53
4.3. Измеритель L, C, R, универсальный Е7-11	54
4.4. Измерение параметров электрических сетей измерителем Е7-11 .	57
4.4.1. Измерение сопротивлений на постоянном токе.....	57
4.4.2. Измерение сопротивлений на переменном токе	57
4.4.3. Измерение ёмкости и тангенса угла потерь.....	58
4.4.4. Измерение ёмкости и добротности	59
4.4.5. Измерение индуктивности и добротности.....	59
4.4.6. Измерение индуктивности и тангенса угла потерь	60
4.5. Порядок выполнения работы	61
4.5.1. Измерение сопротивлений мостом Р4053	61
4.5.2. Измерение R, C, L мостом Е7-11.....	61
4.6. Содержание отчёта о работе	62
4.7. Вопросы для самопроверки.....	62
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5: ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ	64
5.1. Цифровой вольтметр В7-16.....	64
5.1.1. Технические данные вольтметра В7-16.....	64
5.1.2. Подготовка к работе вольтметра В7-16	66
5.1.3. Измерение напряжения постоянного тока.....	68
5.1.4. Измерение напряжения переменного тока	69
5.1.5. Измерение активного сопротивления	70
5.2. Мультиметр М-890	70
5.2.1. Технические данные мультиметра М-890	70
5.2.2. Подготовка к работе мультиметра М-890.....	71
5.2.3. Измерение напряжения постоянного тока.....	72
5.2.4. Измерение напряжения переменного тока	72
5.2.5. Измерение активного сопротивления	73
5.2.6. Измерение постоянного тока.....	73
5.2.7. Измерение переменного тока	73
5.3. Последовательность выполнения работы.....	74
5.4. Содержание отчета о работе	74
5.5. Вопросы для самопроверки.....	74

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6: ПОВЕРКА ТЕРМОМЕТРА

МНОГОКАНАЛЬНОГО.....	76
6.1. Общие сведения	76
6.1.1. Поверка контрольно-измерительных приборов	76
6.1.2. Описание термометра многоканального ТМ 5103	79
6.2. Оборудование и приборы	84
6.3. Последовательность выполнения работы.....	85
6.4. Содержание отчета о работе	86
6.5. Вопросы для самопроверки.....	87

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7: ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ

«САПФИР»	89
7.1. Общие сведения	89
7.2. Оборудование и приборы	94
7.3. Последовательность выполнения работы.....	94
7.4. Содержание отчета о работе	96
7.5. Вопросы для самопроверки.....	97

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8: АВТОМАТИЧЕСКИЕ РН-МЕТРЫ

8.1. Общие сведения	98
8.1.1. Измерительная ячейка рН-метра.....	100
8.1.2. Промышленные преобразователи рН-метров ГСП.....	103
8.1.3. Описание преобразователя П201	105
8.1.4. Поверка и градуировка автоматического рН-метра.....	106
8.2. Оборудование и приборы	108
8.3. Последовательность выполнения работы.....	108
8.4. Содержание отчета о работе	109
8.5. Вопросы для самопроверки.....	110

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9: ПОВЕРКА ПРУЖИННЫХ

МАНОМЕТРОВ.....	111
9.1. Общие сведения	111
9.2. Приборы и оборудование	121
9.3. Последовательность выполнения работы.....	121
9.4. Меры безопасности.....	122
9.5. Обработка результатов измерений	123
9.6. Содержание отчета о работе	123
9.7. Вопросы для самопроверки.....	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	125

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1: ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ФАЗОМЕТРА

Цель работы:

Ознакомиться с различными методами измерения фазового сдвига.

Задачи работы:

1. Изучить принцип действия и устройство электродинамического фазометра.
2. Измерить коэффициент мощности с использованием различных методов и рассчитать погрешность.
3. Написать отчет по лабораторному занятию.

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Значительную часть приёмников электрической энергии в промышленности составляют трёхфазные асинхронные двигатели, обслуживающие силовые промышленные установки (компрессоры, насосы, вентиляторы) и производственные механизмы (в основном станки), установки электрического освещения, электрические печи, преобразовательные установки, служащие для питания приёмников постоянного тока. Все эти приёмники, кроме установок электрического освещения, как правило, являются симметричными.

Измерение фазового сдвига между напряжением и током нагрузки на промышленной частоте, между двумя гармоническими напряжениями (например, входным и выходным напряжениями четырёхполюсника, усилителя) в зависимости от частоты, между двумя периодическими напряжениями одинаковой частоты любой формы – эти задачи часто встречаются в исследовательской и производственной практике. Методы измерения и принципы построения зависят от диапазона частот сигнала и его формы, мощности источников сигналов, требуемой точности измерения.

В работе рассматриваются наиболее широко распространенные методы измерения фазового сдвига:

- а) метод косвенного измерения фазового сдвига с помощью амперметра, вольтметра и ваттметра;
- б) метод непосредственного измерения фазового сдвига с помощью электродинамического фазометра.

1.1.1. Измерение сдвига фаз методом трех приборов

Метод трех приборов является косвенным методом измерения. Для определения угла φ между током и напряжением на нагрузке Z (рис. 1) необходимо произвести измерения тока I , напряжения U и мощности P с амперметра, вольтметра и ваттметра и рассчитать угол φ по формуле

$$\varphi = \arccos \frac{P}{U \cdot I}$$

Следует отметить, что данный метод обладает методической погрешностью, обусловленной конечными значениями сопротивлений приборов. При применении схемы рис. 1, а амперметр измеряет сумму токов в вольтметре, обмотке напряжения ваттметра и нагрузке. При применении схемы рис. 1, б вольтметр измеряет сумму падений напряжений на нагрузке и амперметре.

Поэтому, если сопротивление нагрузки соизмеримо с сопротивлением амперметра, то для уменьшения методической погрешности следует применять схему рис. 1, а. При сопротивлениях нагрузки, значительно превышающих сопротивление амперметра, применяется схема рис. 1, б.

Все рассуждения справедливы и для ваттметра, так как последовательная обмотка ваттметра аналогична обмотке амперметра, а параллельная – обмотке вольтметра.

Точность определения угла φ данным методом невысока, так как, кроме методической погрешности, имеется еще и относительная погрешность результата косвенного измерения, которая, как это известно из теории погрешностей, равна алгебраической сумме относительных погрешностей прямых измерений.

Для уменьшения погрешности измерения угла φ следует выбирать приборы не только относительно высокого класса точности, но и с такими пределами измерения, чтобы относительные погрешности измерения I , U и P были бы возможно меньше.

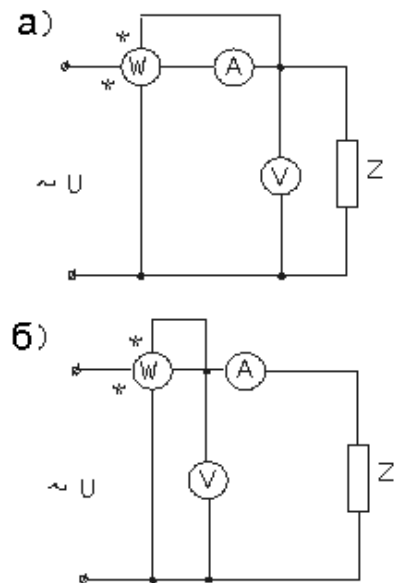


Рис. 1. Измерение сдвига фаз методом трех приборов

Наибольшая возможная абсолютная погрешность определения угла φ в радианах может быть найдена по формуле

$$\Delta = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}} (\delta_A + \delta_V + \delta_W) \cdot \frac{1}{100} = \operatorname{ctg} \varphi (\delta_A + \delta_V + \delta_W) \cdot \frac{1}{100},$$

где δ_A , δ_V и δ_W – наибольшие допустимые относительные погрешности измерения I , U и P , определяемые по классам точности применяемых приборов.

1.1.2. Измерение сдвига фаз с помощью электродинамического фазометра

Для непосредственного измерения угла φ или $\cos \varphi$ применяются показывающие или самопишущие приборы, называемые фазометрами. Наибольшее распространение получили электродинамические и ферродинамические фазометры с логометрическим механизмом. Существенным недостатком этих фазометров является низкий диапазон рабочих частот.

В данной работе используется фазометр электродинамической системы типа ДЗ63. Принципиальная схема прибора и его векторная диаграмма приведены на рис. 2. Жестко скрепленные под углом $\gamma = 60^\circ$ подвижные рамки 1 и 2 вращаются в магнитном поле неподвижной, разделенной на две секции обмотки 3 (рис. 3).

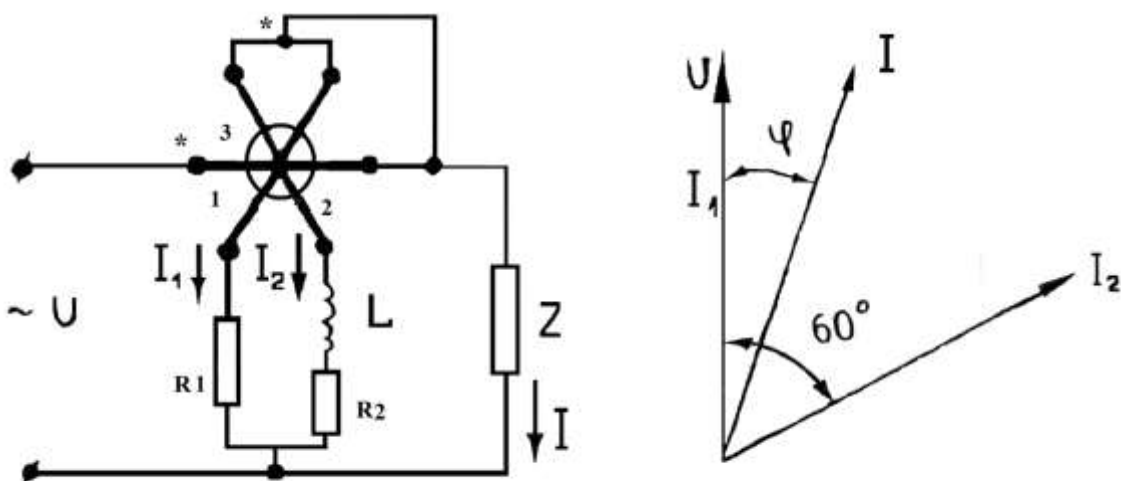


Рис. 2. Принципиальная схема и векторная диаграмма фазометра

По обмотке 3 протекает тот же ток, что и в нагрузке Z . Подвижные рамки включены на напряжение нагрузки. Последовательно с рамкой 1 включено активное сопротивление R_1 , а последовательно с рамкой 2 – индуктивность L и активное сопротивление R_2 . Величина индуктивности L подобрана так, что токи в рамках 1 и 2 сдвинуты по фазе на угол 60° . Ток к рамкам подводится с помощью безмоментных токоподводов.

На рис. 3 показаны направления действия сил в приборе при указанных направлениях токов в обмотках.

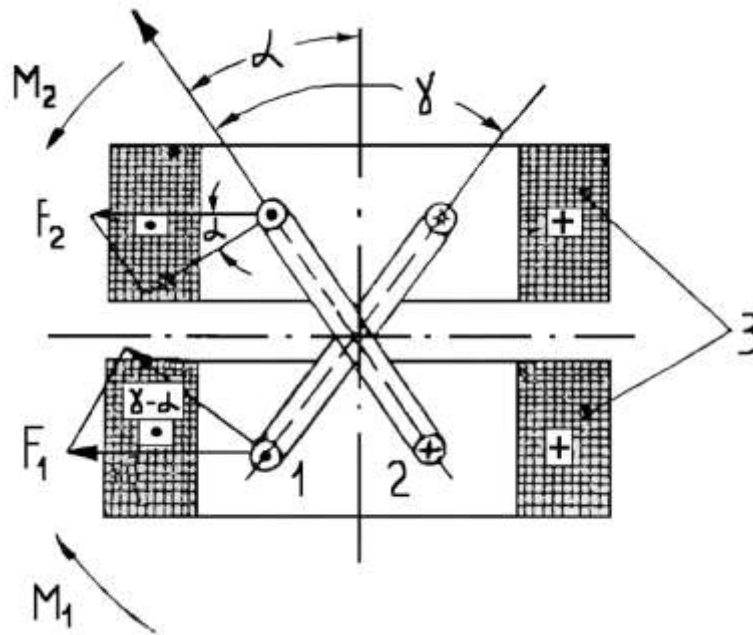


Рис. 3. Обмотки статора

Нетрудно видеть, что момент M_1 пропорционален составляющей $F_1 \cos(\gamma - \alpha)$, а момент M_2 – составляющей $F_2 \cos(\gamma - \alpha)$, где α – угол отклонения подвижной системы. Можно показать, что вращающиеся моменты M_1 и M_2 при условии, что магнитное поле неподвижной обмотки равномерно, определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= c_1 \cdot I \cdot I_2 \cos(\gamma - \alpha) \cos \varphi \\ M_2 &= c_2 \cdot I \cdot I_2 \cos \alpha \cos(60^\circ - \varphi) \end{aligned} \right\}$$

Моменты M_1 и M_2 направлены навстречу друг другу. Следовательно, при равновесии имеем

$$c_1 \cdot I \cdot I_2 \cos(\gamma - \alpha) \cos \varphi = c_2 \cdot I \cdot I_2 \cos \alpha \cos(60^\circ - \varphi).$$

Если $I_1 = I_2$, то учитывая, что $\gamma = 60^\circ$, получаем

$$\frac{\cos \alpha}{\cos(60^\circ - \alpha)} = \frac{\cos \varphi}{\cos(60^\circ - \varphi)},$$

Следовательно, при указанных условиях шкала фазометра, проградуированного в углах сдвига фаз, будет равномерной.

В общем случае путем изменения угла между плоскостями подвижных рамок, фазового сдвига между токами I_1 и I_2 , величин токов и расположения стрелки можно изменять желаемым образом характер шкалы прибора.

Фазометр типа ДЗ63 предназначен для работы на промышленной частоте при номинальном напряжении 380 В и токах от 20 до 100 % номинальных значений (5 А). При измерении тока ниже указанного значения погрешность прибора будет превышать допустимую вследствие влияния остаточных моментов токоподводов.

Указатель у невключенного фазометра может занимать любое положение на шкале из-за отсутствия у прибора механического противодействующего момента.

Прибор имеет линейную шкалу. Его показания не зависят от нестабильности напряжения на нагрузке (в пределах 10–20 %). Недостатками таких фазометров являются сравнительно большая потребляемая мощность от источника сигнала (5–10 В·А) и зависимость показаний от частоты.

Шкала рассмотренного фазометра может быть проградуирована также в значениях коэффициента мощности, т.е. в значениях $\cos \varphi$, в относительных единицах и в процентах.

На основе электродинамических механизмов возможно построение фазометров для измерения $\cos \varphi$ и в трехфазных цепях переменного тока. По принципу действия трехфазный фазометр подобен однофазному, но необходимые фазовые сдвиги между токами в обмотках рамок подвижной части прибора можно получить более просто, используя 120-градусные сдвиги между напряжениями и токами трехфазной цепи. Такой прибор дает правильные показания в трехфазной цепи с симметричными напряжениями и токами. В случае несимметричной трехфазной цепи можно говорить лишь о разности фаз между током и напряжением в каждой фазе.

1.2. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

1. Частотомер индукционной системы типа В 81, класс точности 1.
2. Фазометр системы ферродинамического логометра типа Д363, класс точности 1,5.
3. Вольтметр типа Э359л и амперметр типа Э59к электродинамической системы для измерений в цепях переменного тока, классы точности приборов 0,5.
4. Киловаттметр ферродинамической системы типа Д335, класс точности 1,5.
5. Ползунковый трёхзажимный реостат.
6. Схема лабораторной установки представлена на рис. 4.
7. Последовательный участок измерительной цепи состоит из последовательных цепей контрольного ваттметра W и фазометра φ , нагрузки цепи Z и амперметра A (рис. 4).

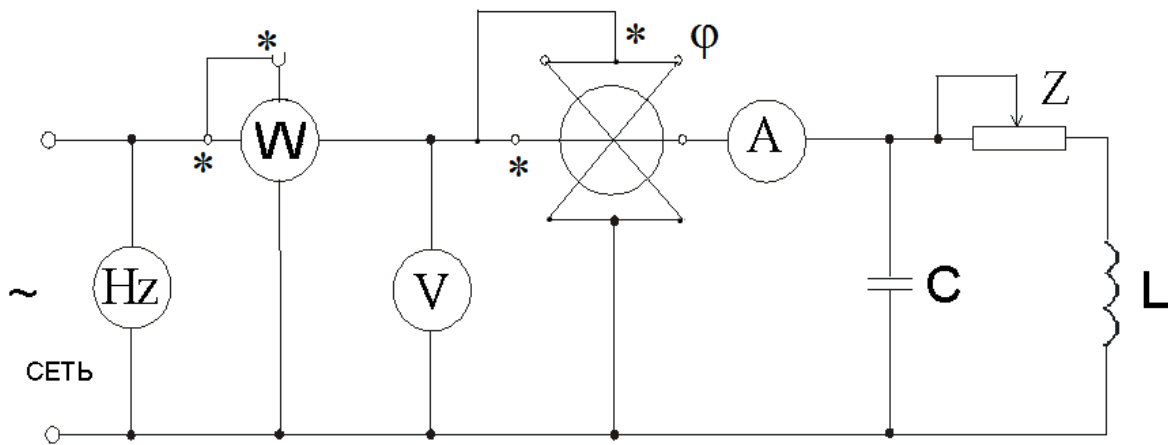


Рис. 4. Схема лабораторной работы № 1
«Проверка электродинамического фазометра»

В измерительную цепь параллельно включены контрольный вольтметр V и частотомер, а также параллельные цепи киловаттметра W и фазометра φ . Измерительная цепь присоединена к регулировочному реостату Z , рассчитанному на силу тока 5 А.

1.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для работы, записать их системы, классы точности, пределы измерений и цену деления.

2. Получить допуск к выполнению работы у преподавателя.

3. Установить ползунок реостата Z в исходное нижнее положение.

4. Включить стенд нажатием кнопки **«СЕТЬ ВКЛ.»**

5. Включить питание лабораторной работы № 1 нажатием кнопки **«Л. Р. № 1»**.

6. Перемещая ползунок реостата Z , записать в таблицу показания амперметра, вольтметра и ваттметра при пяти различных показаниях фазометра:

7. при емкостной нагрузке $\cos \varphi_1 = 0,6$; $\cos \varphi_2 = 0,9$;

8. при активной нагрузке $\cos \varphi_3 = 1$;

9. при индуктивной нагрузке $\cos \varphi_1 = 0,9$; $\cos \varphi_2 = 0,6$;

10. Ползунок реостата Z установить в начальное нижнее положение.

11. Выключить лабораторную работу нажатием кнопки **«ОТКЛ.»**.

12. Выключить питание стенда кнопкой **«СЕТЬ ОТКЛ.»**.

13. По показаниям контрольных киловаттметра W , амперметра A и вольтметра V вычислить для каждого измерения коэффициент мощности по формуле $\cos' \varphi = \frac{P}{UI}$; определить $\cos \varphi'$ и угол φ' и полученные результаты сравнить с показаниями фазометра $\cos \varphi$ и φ .

14. Определить относительную погрешность электродинамического фазометра для каждого измерения по формуле

$$\gamma = \frac{\cos \varphi - \cos' \varphi}{\cos \varphi} \cdot 100\%.$$

15. По результатам измерений коэффициента мощности построить векторные диаграммы для активной, емкостной и индуктивной нагрузок.

№ наблюдений	Измеренные величины									Вычисленные величины	
	I		U		P		f	$\cos\varphi$	φ	$\cos\varphi'$	φ'
	Дел	А	Дел	В	Дел	Вт	Гц	-	Град	-	Град
1											
2											
3											
4											
5											

1.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА О РАБОТЕ

1. Наименование и цель работы.
2. Схема включения приборов при измерении коэффициента мощности.
3. Таблица с перечнем и основными техническими характеристиками приборов.
4. Таблица результатов измерений и векторные диаграммы.
5. Выводы с указанием причин, влияющих на величину коэффициента мощности. Отметить, какой из результатов измерений является наиболее удовлетворительным.

1.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип действия электродинамических частотомера, фазометра, ваттметра.
2. Сколько зажимов имеет фазометр и каково их назначение?
3. Как можно определить генераторные зажимы фазометра?
4. В каких единицах проградуирована шкала фазометра и какие величины можно отсчитать по ней?
5. Как измерялся коэффициент мощности и угол сдвига фаз при выполнении лабораторной работы?
6. Какие номинальные данные характеризуют фазометр?
7. Чем объясняется разница между величинами мощности, измеренными фазометром и вычисленными по показаниям ваттметра, вольтметра и амперметра?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2: ОДНОФАЗНЫЕ СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы:

Ознакомиться с устройством и принципом действия однофазных индукционного и электронного счётчиков.

Задачи работы:

1. Изучить принцип действия и устройство однофазных индукционного и электронного счётчиков.
2. Провести поверку однофазных счётчиков.
3. Написать отчет по лабораторному занятию.

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерение активной и реактивной энергии в однофазных и трёхфазных трёхпроводных и четырёхпроводных цепях переменного тока может быть произведено с помощью специальных интегрирующих электроизмерительных приборов – однофазных и трёхфазных электрических счётчиков.

Счётчики электрической энергии подлежат поверке в соответствии с ГОСТ Р 52320-2005 (МЭК 62052-11:2003), который предусматривает поверку счётчиков электрической энергии одним из следующих методов:

1) ваттметра и секундомера, при котором определяют действительное значение электрической энергии, вызвавшей вращение диска на заданное число оборотов, по показаниям ваттметра и секундомера и сравнивают его со значением энергии, измеренной счётчиком;

2) образцового счётчика, при котором показания поверяемого счётчика сравнивают с показаниями образцового. Последний допускается включать через измерительные трансформаторы тока и напряжения;

3) длительных испытаний (на контрольной станции), при котором следует сравнивать показания поверяемого счётчика с показаниями образцового счётчика того же типа, который включают в цепи поверяемых счётчиков и погрешности которого должны быть известны, а поправки должны вводиться при сравнении показаний (в данной работе этот метод не используется).

Независимо от выбранного метода применяемые образцовые средства измерений должны обеспечивать определение действительного значения энергии с погрешностью, не превышающей 1/4 допускаемой погрешности поверяемого счётчика. По точности учёта счетчики активной энергии могут быть следующих классов точности 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3,0. Нормальными считаются условия, при которых отклонение счётчика от вертикального положения не превышает 1°, отклонение температуры окружающего воздуха не более чем на $\pm 3^\circ\text{C}$ от 20°C , отклонение напряжения питания счётчика не более чем на $\pm 1\%$ номинального значения напряжения питания.

2.1.1. Устройство и принцип действия однофазного индукционного счётчика

В качестве вращающего элемента однофазного счётчика используется индукционный измерительный механизм. Принцип действия основан на взаимодействии двух или нескольких переменных магнитных потоков с токами, индуцированными ими в подвижном алюминиевом диске. Можно показать, что возникающий в индукционном измерительном механизме вращающий момент M равен:

$$M = cf \Phi_1 \Phi_2 \sin \psi, \quad (1)$$

где Φ_1 и Φ_2 – потоки, пересекающие алюминиевый диск; f – изменения потоков Φ_1 и Φ_2 ; ψ – угол фазового сдвига между потоками Φ_1 и Φ_2 .

Анализируя выражение (1), следует отметить, что:

1) для создания вращающего момента необходимо не менее двух переменных потоков или двух составляющих одного потока, имеющих фазовый сдвиг и смещённых в пространстве;

2) вращающий момент достигает своего максимального значения, когда фазовый сдвиг между потоками Φ_1 и Φ_2 равен 90° ($\sin \psi = 1$);

3) вращающий момент зависит от частоты изменения потоков Φ_1 и Φ_2 .

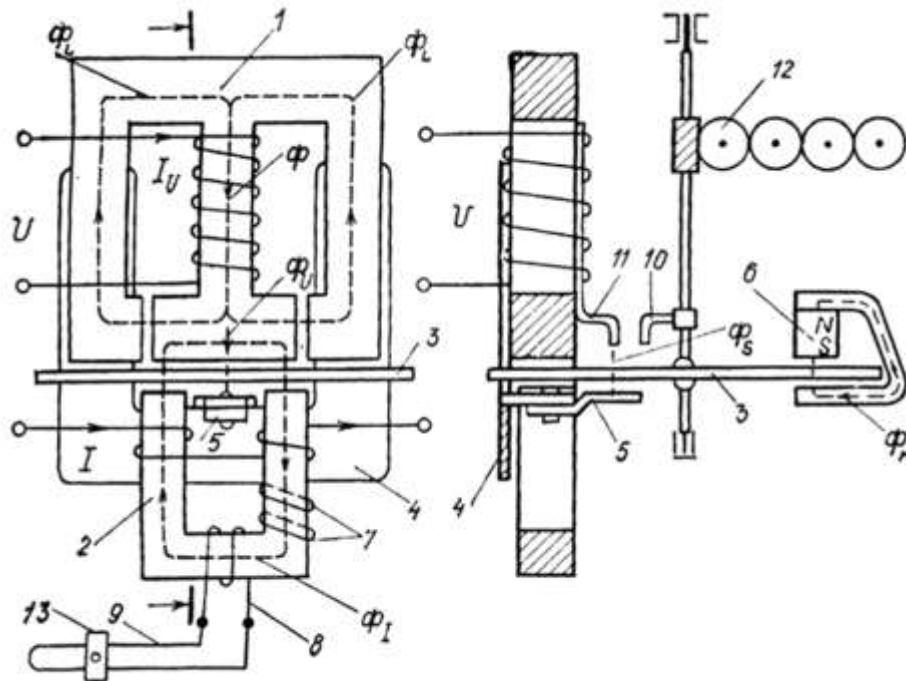


Рис. 1. Однофазный индукционный счетчик

Рассмотрим принцип работы и устройство однофазного индукционного счетчика. На рис. 1 схематично показано устройство широко распространенного индукционного счетчика типа СО (счетчик однофазный): 1 – трехстержневой магнитопровод с обмоткой цепи напряжения; 2 – П-образный магнитопровод с двумя последовательно соединенными токовыми обмотками; 3 – алюминиевый диск, жестко укрепленный на оси подвижной части; 4 – полюс из магнитомягкого материала; 5 – стальной поводок для создания и регулировки компенсационного момента; 6 – постоянный магнит для создания тормозного момента; 7 – короткозамкнутые витки; 8 – обмотка, замкнутая на проволочный резистор 9 с регулируемым сопротивлением; 10 – стальной крючок; 11 – пластина с флажком, выполненные из магнитомягкого материала; 12 – счетный механизм; 13 – переключатель для изменения сопротивления резистора 9.

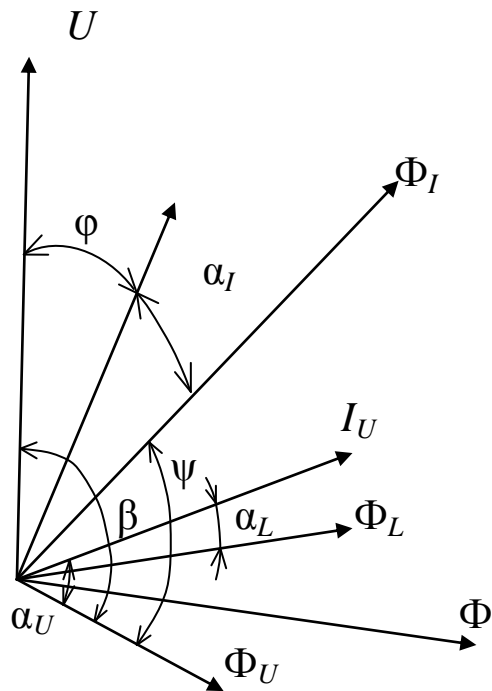


Рис. 2. Векторная диаграмма однофазного счётчика

На рис. 2 приведена упрощенная векторная диаграмма, поясняющая принцип работы счетчика. Напряжение U , приложенное к обмотке напряжения, находящейся на среднем стержне магнитопровода 1 (см. рис. 1), вызывает в обмотке ток I_U , отстающий по фазе от напряжения U ввиду большого реактивного сопротивления обмотки на угол, близкий к 90° . Ток I_U создает магнитный поток Φ в среднем стержне магнитопровода 1. Поток делится на два потока – поток Φ_U и поток Φ_L . Рабочий поток Φ_U пересекает диск 3 и замыкается через противопололюс 4. Нерабочий поток Φ_L замыкается через боковые стержни магнитопровода 1 и непосредственного участия в создании вращающего момента счетчика не принимает. Поток Φ_U и Φ_L отстают от тока I_U на углы потерь α_U и α_L . Угол $\alpha_U > \alpha_L$, так как поток Φ_U пересекает диск 3 и проходит через противопололюс 4, в которых возникают дополнительные потери. Ток I создает в магнитопроводе 2 магнитный поток Φ_I , который дважды пересекает диск 3 и проходит через нижнюю часть среднего стержня магнитопровода 1. Поток Φ_I отстаёт от тока I на угол α_I . Таким

образом, диск пересекают два несовпадающих в пространстве и имеющих фазовый сдвиг магнитных потока, т.е. Φ_U и Φ_I , причем поток пересекает диск дважды. Возникает вращающий момент M . Выражение (1) для этого случая принимает вид:

$$M = cf \Phi_U \Phi_I \sin \psi \quad (2)$$

При работе на линейном участке кривой намагничивания магнитомягких материалов магнитопроводов имеем:

$$\begin{cases} \Phi_I = k_1 I; \\ \Phi_U = k_2 I_U = k_2 \frac{U}{Z_U}, \end{cases} \quad (3)$$

где Z_U – модуль полного сопротивления обмотки цепи напряжения.

Ввиду малости активного сопротивления R_U обмотки напряжения по сравнению с реактивным сопротивлением X_U этой обмотки можно считать, что:

$$Z_U \approx X_U = 2\pi f L_U, \quad (4)$$

где L_U – индуктивность обмотки напряжения.

Учитывая (4), приводим выражение (3) для потока Φ_U к виду

$$\Phi_U = \frac{k_2 U}{2\pi f L_U} = k_3 \frac{U}{f},$$

здесь $k_3 = k_2 / 2\pi f L_U$.

Подставляя значения потоков Φ_I и Φ_U в (2), получаем:

$$M = kUI \sin \psi, \quad (5)$$

где $k = ck_1 k_3$.

Анализируя (5), видим, что вращающий момент счетчика пропорционален активной мощности при выполнении равенства

$$\sin \psi = \cos \varphi, \quad (6)$$

где φ – угол фазового сдвига между напряжением U и током I .

Известно, что синус какого-либо угла равен косинусу другого угла только тогда, когда эти углы являются дополнительными, т.е. $\psi + \varphi = 90^\circ$. Нетрудно видеть (рис. 2), что в рассматриваемом случае для выполнения этого условия необходимо иметь угол $\beta > 90^\circ$, так как $\beta = \psi + \varphi + \alpha_I$.

Наличие относительно большого нерабочего потока Φ_L позволяет получать угол $\beta > 90^\circ$ (в реальных конструкциях счетчиков поток Φ_L существенно больше рабочего потока Φ_U). Обеспечение равенства $\psi + \varphi = 90^\circ$ при заданном угле $\beta > 90^\circ$ осуществляется путем изменения угла потерь α_I с помощью короткозамкнутых витков 7 (грубая регулировка) и обмотки 8, замкнутой на резистор 9 производится путем перемещения контакта 13 (см. рис. 1). Таким образом, при выполнении равенства (6) выражение (5) принимает вид:

$$M = kUI \cos \varphi = kP. \quad (7)$$

Для создания тормозного момента и обеспечения равномерной угловой скорости диска при каждой данной нагрузке служит постоянный магнит 6. При пересечении вращающимся диском наводится ЭДС и возникают токи I_M , пропорциональные потоку Φ_M и угловой скорости диска ω :

$$I_M = c_1 \Phi_M \omega. \quad (8)$$

От взаимодействия тока I_M с потоком Φ_M возникает тормозной момент M_T :

$$M_T = c_2 \Phi_M I_M. \quad (9)$$

Подставив значение I_M из (8) в (9), получим:

$$M_T = c_3 \omega, \quad (10)$$

где $c_3 = c_1 c_2 \Phi_M^2$.

Если пренебречь трением и другими дополнительными тормозными моментами, возникающими при пересечении диском потоков Φ_I и Φ_U , то равномерная угловая скорость диска будет иметь место при $M = M_T$. Приравнявая (7) и (10), имеем:

$$kP = c_3 \omega = c_3 d\alpha / dt. \quad (11)$$

Выражение (11) можно представить следующим образом:

$$kPdt = c_3 d\alpha. \quad (12)$$

Интегрируя (12) по времени от t_1 до t_2 , получаем:

$$k \int_{t_1}^{t_2} Pdt = c_3 \int_{t_1}^{t_2} d\alpha.$$

Нетрудно видеть, что $\int_{t_1}^{t_2} Pdt = W$ – активная энергия, учтенная счетчиком за время от t_1 до t_2 , тогда $kW = c_3 2\pi N$, откуда $W = c_3 2\pi N / k = CN$. Следовательно, число оборотов диска пропорционально учитываемой счетчиком активной энергии.

Для учета числа оборотов диска в счетчиках устанавливается счетный механизм 12 (см. рис. 1). Число оборотов диска счетчика, приходящееся на единицу учитываемой счетчиком энергии, называют передаточным числом счетчика. Передаточное число указывается на щитке счетчика. Например:

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 2000 \text{ оборотов диска.}$$

Величина, обратная передаточному числу счетчика, т.е. энергия, учитываемая счетчиком за один оборот диска, называется номинальной постоянной счетчика $C_{\text{ном}}$. Для счетчика с указанным

выше передаточным числом номинальная постоянная $C_{\text{НОМ}}$ определяется следующим образом:

$$C_{\text{НОМ}} = 3600 \cdot 1000 / 2000 = 1800 \text{ Вт} \cdot \text{с/оборот}.$$

Зная $C_{\text{НОМ}}$ и число оборотов диска счетчика за данный интервал времени, нетрудно определить учтенную счетчиком за этот интервал времени энергию:

$$W = C_{\text{НОМ}} N. \quad (13)$$

В соответствии с ГОСТ Р 52320-2005 (МЭК 62052-11:2003) вращение диска счетчика под действием напряжения, поданного на зажимы параллельной цепи, и при отсутствии тока в последовательной цепи называется самоходом. Для устранения самохода на оси диска прикрепляют крючок 10 (см. рис. 1) из ферромагнитного материала. Флажок 11 намагничивается потоком Φ_S и, притягивая крючок 10, устраняет самоход. Таким образом, теперь, даже тогда, когда компенсационный момент больше момента трения, диск счетчика при токе $I = 0$ не совершает более одного оборота, что в соответствии с ГОСТ Р 52320-2005 (МЭК 62052-11:2003) считается отсутствием самохода.

Сила взаимодействия между крючком и флажком должна быть отрегулирована так, чтобы счетчик обладал допустимым порогом чувствительности. Под порогом чувствительности счетчика понимают наименьшее нормируемое значение тока I в процентах $I_{\text{НОМ}}$, при котором начинается непрерывное вращение диска счетчика при номинальных значениях напряжения и частоты и при $\cos \varphi = 1$.

На работу счетчика влияют многочисленные факторы, обусловленные конструкцией счетчика, качеством изготовления деталей, материалом деталей и т.д. По точности учета электроэнергии счетчики активной энергии могут быть следующих классов точности: 0,5; 1,0; 2,0 и 2,5. В отличие от аналоговых показывающих приборов классы точности счетчиков определяются не по приведенной, а по относительной погрешности, определяемой при различных оговоренных ГОСТ Р 52320-2005 (МЭК 62052-11:2003)

нагрузках. Допускаемую относительную погрешность счетчика в процентах определяют формуле

$$\delta = \frac{W_{\text{сч}} - W}{W} \cdot 100\% ,$$

где $W_{\text{сч}}$ – значение электрической энергии, определенное по показаниям поверяемого счетчика за данный интервал времени; W – действительное значение электрической энергии, определенное за этот же интервал времени по показаниям образцовых приборов.

В качестве образцовых приборов используются либо образцовый счетчик (счетчик, имеющий более высокий класс), либо ваттметр и секундомер.

Генераторные зажимы токовых обмоток счетчиков обозначаются буквой Г, а зажимы, к которым подключается нагрузка, – буквой Н. Зажимы обмоток напряжения счетчиков, предназначенных для включения в трехфазные трех- или четырехпроводные цепи, обозначаются цифрами 1, 2, 3 и 0.

На рис. 3 изображена схема расположения зажимов и присоединения к ним обмоток однофазного счетчика непосредственного включения.

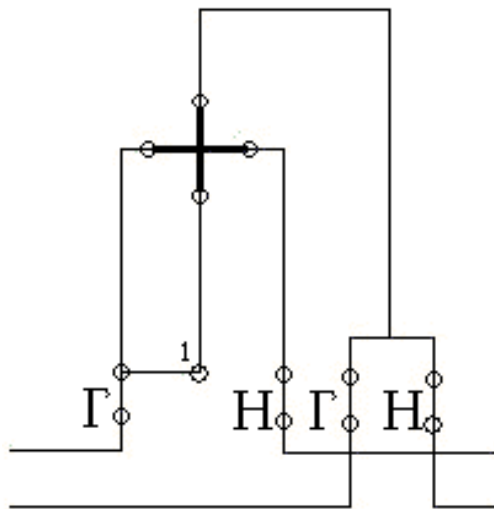


Рис. 3. Схема включения однофазного счетчика

2.1.2. Устройство и принцип действия однофазного электронного счетчика энергии

В основу работы электронных счётчиков положено использование статического преобразователя мощности в постоянное напряжение. При этом применяется двойная модуляция с преобразованием напряжения в частоту электрических импульсов и последующим их интегрированием в соответствии с зависимостью $W = \int_{t_1}^{t_2} p dt$. Структурная схема счётчика приведена на рис. 4. Она

содержит преобразователь мощности в напряжение (ПМН), преобразователь напряжения в частоту (ПНЧ) и счётчик импульсов (СИ).

ПМН содержит блоки широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и амплитудно-импульсной модуляции (АИМ). На вход блока ШИМ поступает напряжение, пропорциональное току нагрузки, а на вход блока АИМ – напряжение на нагрузке.

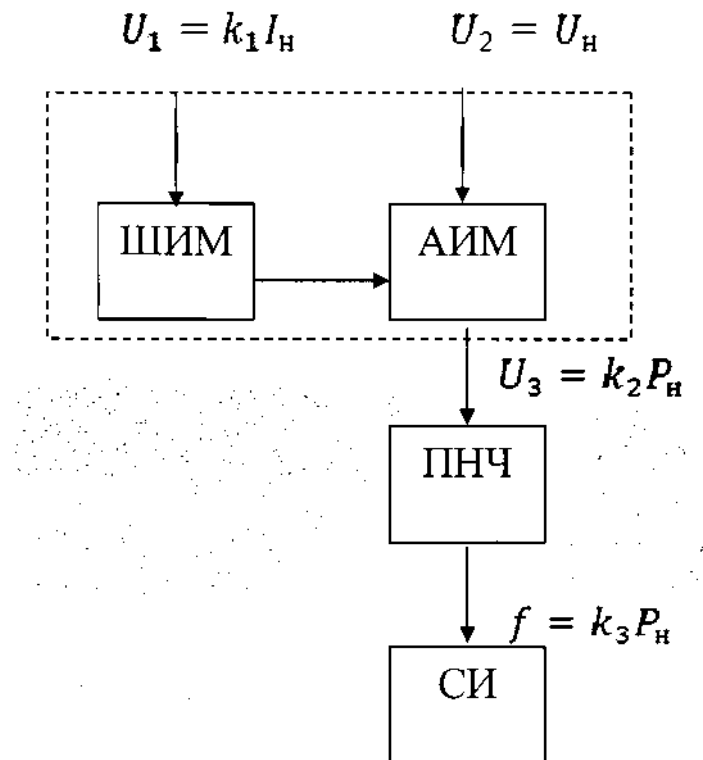


Рис. 4. Структурная схема электронного счётчика энергии переменного тока

С помощью схемы ШИМ напряжение преобразуется в последовательность прямоугольных импульсов переменной длительности. С изменением величины U_1 изменяется отношение разности длительности импульсов T_n и интервалов между ними T_p к их сумме, т.е.

$$U_1 = k_1 I_H = k \frac{T_H - T_H}{T_H + T_H} = k \frac{\Delta T}{T}, \quad (14)$$

где k – постоянный коэффициент; $T = T_H + T_H$ – период следования

импульсов;
 $\Delta T = T_H - T_H$.

Так как амплитуда импульсов в схеме АИМ изменяется пропорционально напряжению на нагрузке, а их длительность функционально связана с током нагрузки, в блоке АИМ производится

умножение входных сигналов. Среднее значение напряжения U_3

на выходе схемы АИМ пропорционально активной мощности P_H . С

помощью ПНЧ напряжение U_3 преобразуется в частоту импульсов,

которая пропорциональна мощности P_H .

Выходные импульсы ПНЧ подсчитываются счётчиком импульсов СИ, т.е. тем самым производится их интегрирование. Следовательно, показания СИ пропорциональны активной энергии W .

2.2. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Однофазный индукционный счётчик электрической энергии типа СО-2М, класс точности 2,5, номинальное напряжение 220 В, номинальный ток 5 А.

2. Однофазный электронный счётчик электрической энергии типа СОЭБ-1, класс точности 2, номинальное напряжение 220 В, номинальный ток 5 А.

3. Счётчик импульсов типа СИ-206-1 с номинальным напряжением импульса 48 В.

4. Амперметр и вольтметр электромагнитной системы типов Э59к и Э59л соответственно, класс точности приборов 0,5.

5. Киловаттметр однофазный типа Д539к, класс точности 0,5.

6. Ползунковый трёхзажимный реостат, рассчитанный на силу тока 5 А.

7. Частотомер вибрационный типа В 81, класс точности 1.

2.3. СХЕМА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И ПОВЕРКИ ОДНОФАЗНЫХ СЧЁТЧИКОВ

Схема лабораторной установки приведена на рис. 5.

Последовательный участок измеряемой цепи состоит из индукционного счётчика Wh_1 , электронного счётчика Wh_2 , контрольного амперметра A , токовой обмотки однофазного ваттметра W и нагрузочного ползункового реостата Z .

В параллельные участки цепи входят: вольтметр V , частотомер индукционный H_z , обмотки напряжения индукционного и электронного счётчиков, обмотка напряжения однофазного ваттметра W .

Нагрузка цепи чисто активная с $\cos \varphi = 1$,

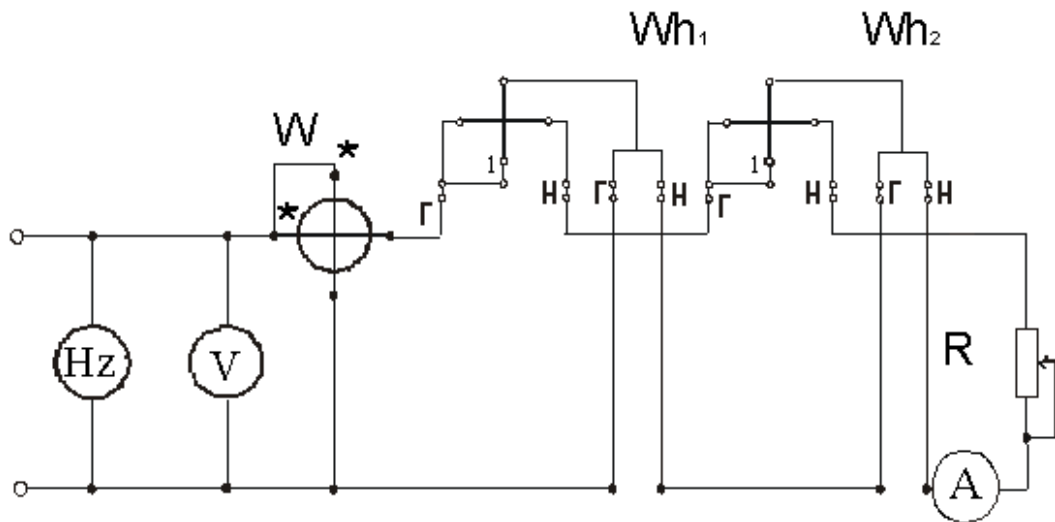


Рис. 5. Схема лабораторной установки «Однофазные счетчики электрической энергии»

2.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Работа состоит из двух этапов:
2. Проверка индукционного счетчика Wh_1 с помощью метода ваттметра и секундомера.
3. Проверка индукционного счетчика Wh_1 методом образцового счетчика, при котором показания поверяемого индукционного счетчика Wh_1 сравнивают с показаниями образцового электронного счетчика Wh_2 .

2.4.1. Проверка методом ваттметра и секундомер

1. Ознакомьтесь с приборами, имеющимися на лабораторном стенде, внесите в отчёт их паспортные данные.

2. Перед включением стенда убедитесь, что движок нагрузочного реостата находится в нижнем положении.

3. Включите стенд кнопкой «СЕТЬ ВКЛ.», подайте напряжение на схему кнопкой «Л. Р. № 2».

4. Проверьте счётчик на отсутствие самохода. Для этого необходимо установить реостатом $Z I = 0$. Таким образом, счётчики остаются под напряжением, но без нагрузки. Если при этом диск счётчика не совершает более одного полного оборота за 10 минут, то самоход у счётчика отсутствует.

5. Изменяя нагрузку реостатом Z , установите по амперметру номинальный ток $I_{\text{НОМ}}$ счётчика Wh_1 ($U_{\text{НОМ}}$ и $I_{\text{НОМ}}$ счётчика указаны на его щитке).

6. Перед началом поверки необходимо прогреть измерительный механизм индукционного счётчика Wh_1 . Диск счётчика должен вращаться. Время прогрева – не менее 10 минут.

7. Отсчитайте по секундомеру время t , в течение которого диск индукционного счётчика Wh_1 сделает целое число оборотов N , показание ваттметра P запишите в табл. 1.

Таблица 1

P		t	N	$W_{\text{д}}$	N_0	$C_{\text{НОМ}}$	$W_{\text{сч}}$	Относительная погрешность
дел.	Вт	с						

Примечание: число оборотов выбирается таким, чтобы соответствующее время было примерно $50 \div 60$ с. Измерение времени при одной и той же нагрузке и одном и том же числе оборотов N производят три раза, за действительное значение времени t принимают среднее арифметическое из трех полученных значений.

8. Вычислите и запишите в табл. 1 действительное значение электроэнергии, определенное за данный промежуток времени t по показаниям образцовых приборов:

$$W_d = Pt, \quad (15)$$

9. Вычислите и запишите в табл. 1 значение электроэнергии $W_{сч}$, определенное за этот же промежуток времени по показанию счетчика:

$$W_{сч} = C_{НОМ} N, \quad (16)$$

где $C_{НОМ}$ – номинальная постоянная счетчика, определяемая по формуле

$$C_{НОМ} = 3600 \cdot 1000 / N_0 \text{ [Вт} \cdot \text{с/оборот]}, \quad (17)$$

где N_0 – передаточное число счетчика, указанное на его щитке.

10. Вычислите относительную погрешность счетчика по формуле

$$\delta = W_{сч} - W_d / W_d \cdot 100\% \quad (18)$$

11. Результаты вычислений занесите в табл. 1.

2.4.2. Поверка методом образцового счетчика

1. Выполните пункты 2-5.
2. Запишите в табл. 2 начальные значения учтенной электроэнергии счетчиками поверяемым Wh_2 и образцовым Wh_1 .

Таблица 2

иск счет чика дол жен вра щат ься не ме-	Показания счетчиков 3. перед поверкой		Показания счетчиков после поверки		Учтенная электроэнергия		Относительная погрешность
	Поверяемого Wh_1	Образцового Wh_2	Поверяемого Wh_1	Образцового Wh_2	Поверяемым Wh_1	Образцовым Wh_2	
	$W_{сч,н}$, кВт·ч	$W_{д,н}$, кВт·ч	$W_{сч,к}$, кВт·ч	$W_{д,к}$, кВт·ч	$W_{сч}$, кВт·ч	$W_{д}$, кВт·ч	%

нее 10 минут.

4. Запишите в табл. 2 показания счетчиков Wh_1 и Wh_2 после поверки.

5. Определите учтенное количество электроэнергии счетчиками за время поверки:

$$W_{\text{сч}} = W_{\text{сч,к}} - W_{\text{сч,н}},$$

$$W_{\text{д}} = W_{\text{д,к}} - W_{\text{д,н}}.$$

6. Определите относительную погрешность счетчика по формуле (6).

7. Результаты вычислений запишите в табл. 2.

8. После окончания поверки установите реостат Z в начальное положение, отключите лабораторную работу № 2 кнопкой «ОТКЛ.», выключите стенд кнопкой «СЕТЬ ОТКЛ.».

2.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА О РАБОТЕ

1. Наименование и цель работы.
2. Таблицы результатов измерений и расчётов.
3. Выводы, а также заключение о соответствии счётчика классу точности, указанному на его щитке.

2.6. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принцип действия однофазного индукционного счетчика.
2. Принцип действия однофазного электронного счетчика.
3. Как включают в измеряемую цепь счётчик электрической энергии и какие правила надо соблюдать при его включении?
4. В чём заключается поверка счётчика и для чего она необходима?
5. Каково назначение измерительных приборов, включённых в схему поверки счётчика электрической энергии?
6. Как вычисляют относительную погрешность счётчика? Соответствует ли счётчик, применявшийся в работе, техническим требованиям по величине его относительной погрешности?
7. Что такое постоянная счётчика?
8. Что такое передаточное число счетчика?
9. С какими недостатками счётчики электрической энергии непригодны для включения в измеряемую цепь?
10. При каких условиях определяют наличие самохода у индукционного счетчика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

Изучение устройства, принципа действия и характеристик электроннолучевых осциллографов (ЭЛО), использование осциллографов для измерения временных интервалов, частоты, фазы, приобретение навыков работы с ЭЛО и генераторами.

Цель работы: Изучить устройство и принцип действия электроннолучевых осциллографов (ЭЛО).

Задачи работы:

1. Ознакомиться с устройством, принципом действия и характеристиками ЭЛО.
2. Освоить использование ЭЛО для измерения временных интервалов, частоты и фазы.
3. Приобрести навыки работы с ЭЛО и генераторами.
4. Написать отчет по лабораторному занятию.

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электронно-лучевые (электронные) осциллографы предназначены для визуального наблюдения, измерения и регистрации электрических сигналов. Важными достоинствами осциллографов являются возможность определения различных амплитудных и временных параметров наблюдаемых изменяющихся во времени сигналов, широкий частотный диапазон, высокая чувствительность и большое входное сопротивление.

Большое распространение получили универсальные ЭЛО для периодических и непериодических сигналов непрерывного и импульсного характера в широком (до 100 МГц) диапазоне частот. По количеству одновременно исследуемых сигналов ЭЛО могут быть одноканальными и многоканальными (в основном двухканальными). Двухканальным называется ЭЛО, предназначенный для наблюдения двух сигналов посредством однолучевой электронно-лучевой трубки.

3.1.1. Метод интерференционных фигур

При научных исследованиях и в производственной практике часто встречается необходимость измерения частоты и фазового сдвига между напряжением и током нагрузки в цепях промышленной частоты. В зависимости от диапазона измерений и требуемой точности используют различные средства и методы измерений. Достаточно точные результаты могут быть получены при использовании метода сравнения, когда измеряемая частота определяется по равенству или кратности известной частоты. Индикатором равенства или кратности частот может служить ЭЛО. Этот способ измерения пригоден для измерения частот в пределах полосы пропускания электронно-лучевой трубки.

При сравнении двух колебаний синусоидальной формы используется метод фигур Лиссажу, который заключается в следующем.

Для сравнения измеряемой частоты с частотой образцового источника посредством ЭЛО напряжение известной частоты образцового источника $f_{\text{обр}}$ подается на один вход осциллографа (например, вход X), а напряжение измеряемой частоты $f_{\text{изм}}$ – на второй (например, вход Y). Частоту образцового генератора перестраивают до получения на экране осциллографа устойчивого изображения простейшей интерференционной фигуры: прямой, окружности или эллипса. Появление одной из этих фигур свидетельствует о равенстве частот напряжений, поданных на оба входа осциллографа (например, отношение $f_{\text{обр}} : f_{\text{изм}} = f_x : f_y = 1 : 1$) (рис. 1).

Если точное равенство частот не достигнуто, т.е. $f_{\text{изм}} = f_{\text{обр}} \pm F_p$, то фигура непрерывно изменяется, принимая форму эллипсов с переменной длиной осей или прямой. При подобных измерениях частоты отчетливо проявляются погрешность меры, нестабильность образцовой частоты и погрешность сравнения F_p . На низких частотах погрешность сравнения F_p можно определить, сосчитав число p периодов изменения фигуры за определенный интервал времени Δt . Тогда $F_p = p / \Delta t$.

Когда частоты не равны друг другу, но кратны, на экране осциллографа наблюдаются более сложные фигуры. Вид фигуры при данном соотношении частот зависит от начального фазового сдвига напряжений на входах X и Y осциллографа (рис. 1). Еще сложнее фигуры – для дробного отношения частот.

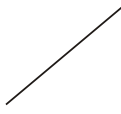

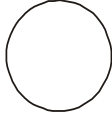

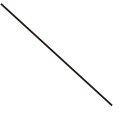
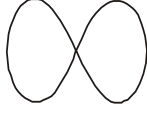


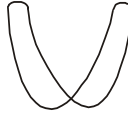
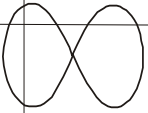

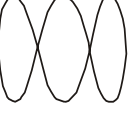

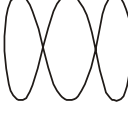

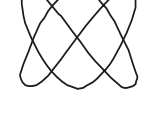

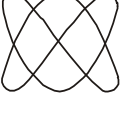

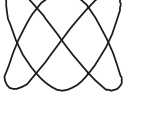
f_x/f_y	0°	45°	90°	135°	180°
1/1					
1/2					
1/3					
2/3					

Рис. 1. Фигуры Лиссажу

Соотношение частот определяют следующим образом. Через изображение фигуры мысленно проводят две прямые линии: горизонтальную и вертикальную (правый крайний столбец на рис. 1). Отношение числа n_r пересечений горизонтальной прямой с фигурой к числу n_b пересечений вертикальной прямой с фигурой равно отношению частот напряжений, поданных на входы каналов Y и X осциллографа $f_Y/f_X = n_r/n_b$. Тогда измеряемая частота определится как $f_Y = f_X n_r/n_b$.

Этот метод применяют лишь при относительно небольшой кратности частот, не превышающей 10, так как в противном случае фигуры Лиссажу становятся запутанными и с трудом поддаются расшифровке.

3.1.2. Параметры импульса

Вследствие разброса характеристик элементов, из которых состоит любая радиоэлектронная аппаратура, невозможно получить меандр (прямоугольный сигнал) абсолютно прямоугольной формы, а тем более высокочастотный. Поэтому для измерения параметров импульса пользуются рис. 2, на котором представлена характерная форма основного импульса.

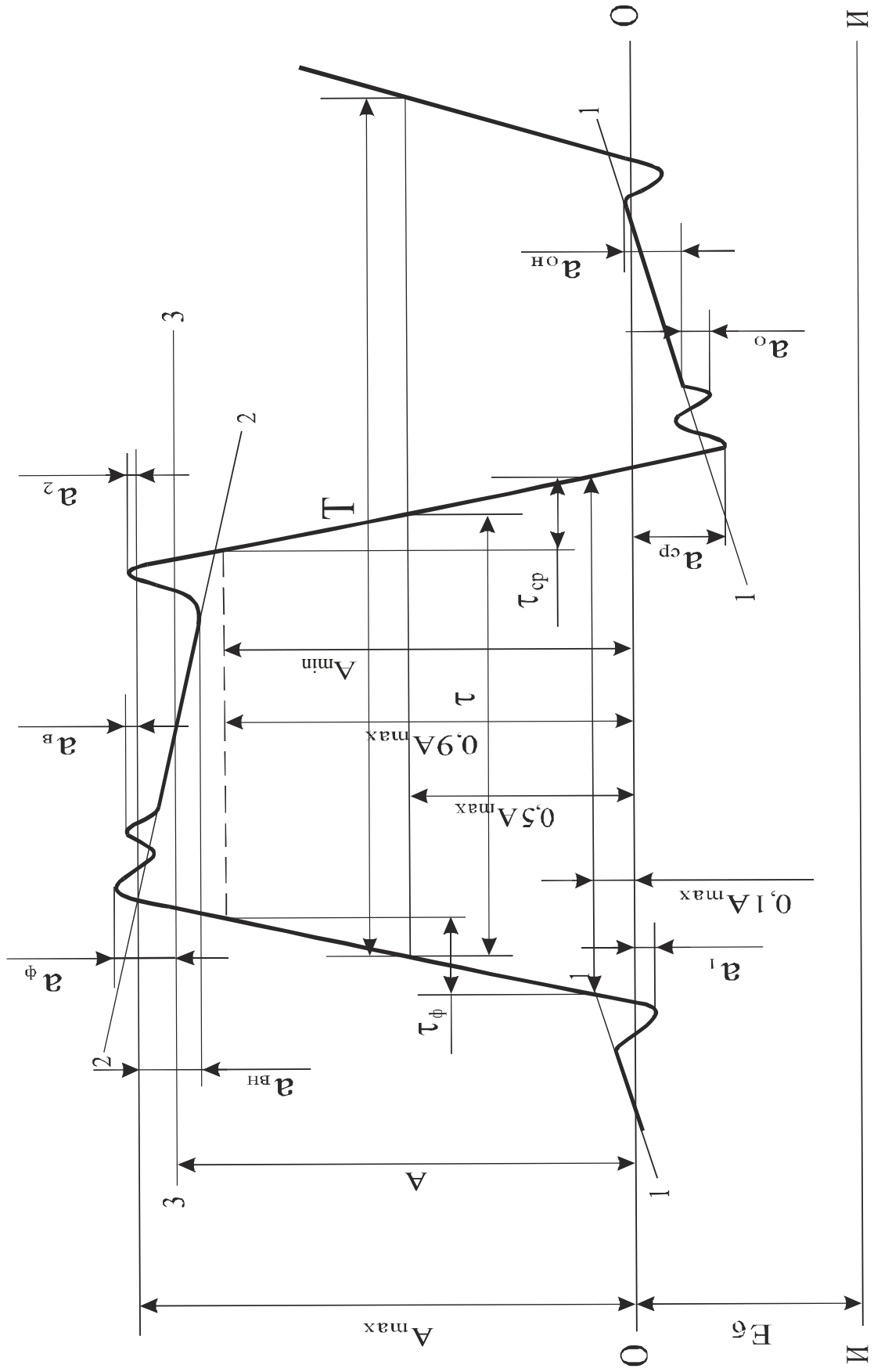


Рис. 2. Характерная форма основного импульса

Здесь: И-И – исходный уровень при наличии базового смещения E_6 ; О-О – уровень основания; 1-1 – аппроксимирующая линия основания при наличии наклона основания; 2-2 – аппроксимирующая линия вершины при наличии наклона вершины; 3-3 – уровень вершины, определяемый как средний между максимальным A_{\max} и минимальным A_{\min} значениями сигнала на вершине; A_{\max} – амплитуда импульса при наличии наклона вершины; A_{\min} – амплитуда импульса при отсутствии наклона вершины; τ – длительность импульса; $\tau_{\text{ф}}$ – длительность фронта импульса; $\tau_{\text{ср}}$ – длительность среза импульса; a_1 – выбросы до фронта импульса; $a_{\text{ф}}$ – выбросы за фронтом импульса; a_2 – выбросы до среза импульса; $a_{\text{ср}}$ – выбросы за срезом импульса; $a_{\text{в}}$ – неравномерность вершины импульса; $a_{\text{вн}}$ – наклон вершины импульса; $a_{\text{о}}$ – неравномерность основания импульса; $a_{\text{он}}$ – наклон основания импульса; T – период импульсов.

Чем ближе форма импульса к идеальной, тем меньше параметров необходимо определять.

3.2. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Для измерения временных интервалов используется комплекс приборов, состоящий из универсального осциллографа С1-83 и универсального генератора импульсов Г5-78, для измерения частоты и фазы – из универсального осциллографа С1-83 и двух генераторов синусоидальных сигналов Г3-109.

Электронно-лучевой осциллограф С1-83, структурная схема которого изображена на рис. 3, содержит следующие функциональные узлы:

1. электронно-лучевая трубка (ЭЛТ);
2. входные делители (аттенюаторы);
3. предварительные усилители каналов I и II;
4. диодные ключевые схемы;
5. мультивибратор (коммутатор);
6. выходной усилитель Y ;
7. промежуточный усилитель (в первом канале);
8. схему синхронизации (селектор синхронизации, триггер синхронизации и схему автоматического запуска развертки);
9. триггер развертки;
10. генератор развертки;

11. схему блокировки развертки;
12. усилитель канала Z (ключ);
13. выходной усилитель X;
14. калибратор;
15. блок питания.

Исследуемый сигнал подается на одно или одновременно на два гнезда « $\ominus 1\text{M}\Omega 35\text{pF}$ » тракта вертикального отклонения.

При помощи входных аттенюаторов выбирают величины сигналов, удобные для наблюдения на экране ЭЛТ.

Исследуемые сигналы усиливаются предварительными усилителями, в которых находятся элементы для балансировки, калибровки коэффициента отклонения (« \blacktriangledown »), регулировки усиления (« \blacktriangleright »), а также смещения луча по вертикали (« \updownarrow »).

Усиленные сигналы с выходов предварительных усилителей поступают через диодную ключевую схему на выходной усилитель Y. Управление диодной ключевой схемой производится с помощью встроенного в нее мультивибратора. В зависимости от режима работы мультивибратора вертикальные каналы могут работать в одном из следующих режимов: «I», «...», « $I \pm II$ », « $\rightarrow \rightarrow$ », «II, X – Y».

Кроме того, в I канале предварительного усилителя имеется промежуточный усилитель, с выхода которого снимается сигнал для внутренней синхронизации от I канала, а также сигнал, поступающий на внешнее гнездо ШЗ и на выходной усилитель X, при работе осциллографа в режиме «II, X – Y».

Исследуемый сигнал с выхода промежуточного усилителя и с выхода выходного усилителя Y поступает на селектор синхронизации, который осуществляет выбор источника синхронизации «Внутр. I», «Внутр. I, II», «Внеш.» и вид связи с источником синхронизации (открытый, закрытый).

При работе в режиме «II, X – Y» к выходному усилителю X вместо развертки подключается выход I-го канала усилителя Y. II-й канал усилителя Y подключен ко входу выходного усилителя Y.

Для периодической проверки коэффициента отклонения вертикального канала и проверки калибровки длительности развертки служит калибратор (амплитуды и длительности исследуемого сигнала).

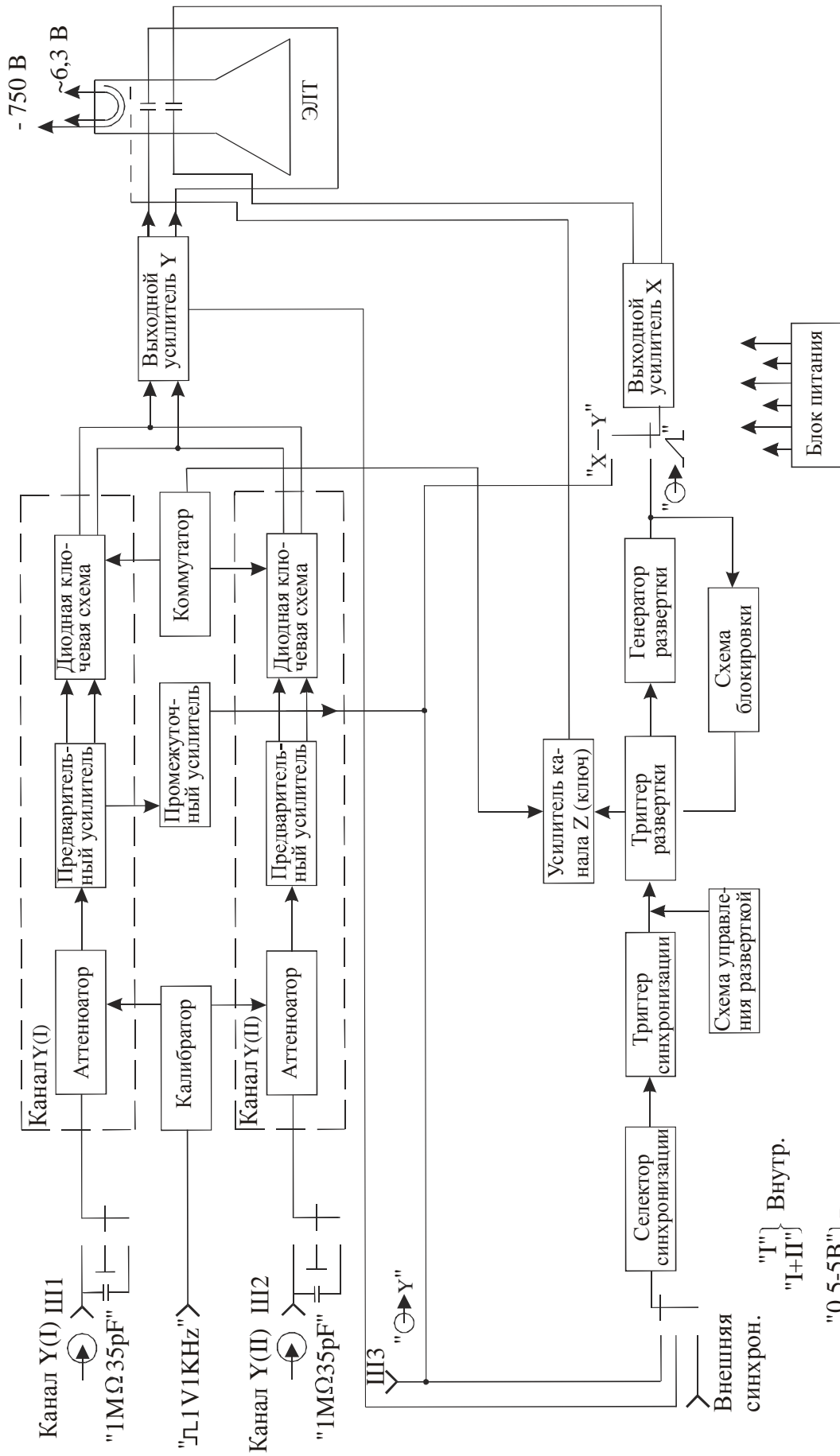


Рис. 3. Структурная схема осциллографа С1-83

Схема синхронизации усиливает исследуемый сигнал до необходимой величины и преобразует его в импульсы, запускающие генератор развертки (генератор пилообразного напряжения). Пилообразное напряжение необходимо для временной развертки луча ЭЛТ.

Генератор развертки может работать в автоколебательном и ждущем режимах. Схема блокировки предупреждает повторный запуск развертки при обратном ходе развертки и обеспечивает работу генератора развертки в автоколебательном режиме.

Усилитель развертки (выходной усилитель X) предназначен для усиления пилообразного напряжения до величины, необходимой для нормальной работы ЭЛТ. С триггера развертки прямоугольные импульсы подаются на усилитель тракта «Z» и на blankирующие (гасящие) пластины для гашения обратного хода развертки.

Блок питания обеспечивает всю схему необходимыми питающими напряжениями.

ЭЛО С1-83 имеет следующие органы управления:

- 1) ручка «☼» – регулирует яркость изображения;
- 2) ручка «☉» – регулирует четкость (фокус) изображения;
- 3) ручка «👁» – регулирует астигматизм луча;
- 4) ручка «🌀» — регулирует освещение линий шкалы на экране ЭЛТ.

Органы управления тракта вертикального отклонения:

- переключатели «V/ДЕЛ.» – устанавливают калиброванные коэффициенты отклонения каналов I и II;
- потенциометры «▼» – регулируют коэффициенты отклонения каналов;
- потенциометры «▷» – обеспечивают плавную регулировку коэффициентов отклонения обоих каналов с перекрытием не менее, чем в 2,5 раза в каждом положении переключателей «V/ДЕЛ.»;
- потенциометры «↕» – регулируют положение лучей обоих каналов по вертикали;
- « $\ominus 1\text{M}\Omega 35\text{pF}$ » – высокочастотные гнезда служат для подачи исследуемых сигналов;

– переключатели режима работы входов усилителя в положениях:

- « \sim » – на вход усилителя исследуемый сигнал поступает с постоянной составляющей (открытый вход);
- « \perp » – вход усилителя подключен к корпусу;
- « \sim » – на вход усилителя исследуемый сигнал поступает через разделительный конденсатор (закрытый вход);

– переключатели режима работы усилителей в положениях:

- «I» – на экране ЭЛТ наблюдается сигнал канала I;
- «II, X – Y» – на экране ЭЛТ наблюдается сигнал канала II;
- « $I \pm II$ » – на экране наблюдается алгебраическая сумма сигналов каналов I и II;
- «...» – на экране ЭЛТ наблюдаются изображения каналов обоих каналов, их переключение осуществляется с частотой 100 кГц;
- « $\rightarrow \rightarrow$ » – на экране наблюдаются изображения сигналов обоих каналов, их переключение осуществляется в конце каждого прямого хода развертки;

– переключатель инвертирования сигнала во II-м канале в положениях:

- « \square » – фаза сигнала не меняется;
- « \square » – фаза сигнала меняется на 180° ;

– переключатели изменения усиления каналов в 10 раз, совмещенные с ручкой « \updownarrow », в положениях:

- « $\square \times 1$ » – коэффициент отклонения канала соответствует положению аттенюатора;
- « $\square \times 10$ » – коэффициент отклонения канала соответствует положению аттенюатора, умноженному на 10;

Органы управления синхронизации:

– потенциометр «УРОВЕНЬ» – выбирает уровень исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развертки;

– переключатель источника синхронизации в положениях:

- «Внутр. I» – развертка синхронизируется сигналом с I-го канала;

- «Внутр. I, II» – развертка синхронизируется сигналами обоих каналов (или одного);
- «0,5–5 Внеш.» – развертка синхронизируется внешним сигналом амплитудой 0,5–5 В;
- «5–50 Внеш.» – развертка синхронизируется внешним сигналом амплитудой 5–50 В;
- «X – Y» – вход усилителя X отключается от генератора развертки и подключается к I-му каналу усилителя Y, работа генератора развертки прекращается;
 - переключатель полярности синхронизирующего сигнала в положениях:
 - «+» – развертка синхронизируется положительным перепадом запускающего сигнала;
 - «–» – развертка синхронизируется отрицательным перепадом запускающего сигнала;
 - переключатель режима работы входа синхронизации в положениях:
 - «~» – закрытый вход синхронизации;
 - « $\overline{\sim}$ » – открытый вход синхронизации;
 - « $\overline{\sim}$ НЧ» – открытый вход синхронизации, подключается фильтр нижних частот;
 - « \ominus Внеш.» – гнездо для подачи внешнего синхронизирующего сигнала.

Органы управления разверткой:

- переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» – устанавливает калиброванный коэффициент развертки, когда ручка плавной регулировки установлена в крайнее правое положение «>«;
- ручка «Плавно» – обеспечивает плавную регулировку коэффициента развертки с перекрытием в 2,5 раза в каждом положении переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.»;
- потенциометр « \leftrightarrow » – обеспечивает перемещение луча по горизонтали;
- переключатель « \blacksquare x1, \blacksquare x0,2» – увеличивает скорость развертки в положении « \blacksquare x0,2» в 5 раз;
- « \blacksquare АВТ.» – в этом режиме вырабатывается пилообразное напряжение независимо от запускающего сигнала. Синхронизация осуществляется с частотой не ниже 100 Гц;


- «■ЖДУЩ.» – запуск развертки осуществляется только при наличии синхронизирующего сигнала;
- «ПИТАНИЕ» – осуществляется включение и выключение прибора.

Обозначение «■» соответствует утопленному положению ручки, а «▣» – вытянутому положению ручки. Для установки ручек в последнее положение необходимо их оттянуть вдоль оси до упора.











Для кнопочных переключателей недопустимо одновременное нажатие двух и более кнопок!


3.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.3.1. Определение параметров импульса по осциллограмме

Установите органы управления и регулирования генератора импульсов Г5-78 в исходные положения согласно табл. 1. Если горит лампочка «», то генератор неисправен.

Установите органы управления ЭЛО в следующие положения:

- «V/ДЕЛ.» в положение «0,2 V»;
- «, ,  НЧ» в положение «» или «~»;
- «I», «...», «I ± II», « », «II, X – Y» в положение «I»;
- «+ –» в положение «+»;
- «, , » в положение «»;
- «x1, x10» в положение «x10»;
- «АВТ., ЖДУЩ.» в произвольное положение;
- «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» в положение «1 μs»;
- «Синхронизация» в положение «Внутр. I».

Соедините выход генератора Г5-78 « 50 Ω» со входом I-го канала осциллографа кабелем со специальными разъемами.

Ручками управления осциллографа добейтесь устойчивого крупного изображения сигнала.

Снимите изображение сигнала и масштабной сетки на кальку, запишите значения коэффициента отклонения «V/ДЕЛ.» и коэффициента развертки «ВРЕМЯ/ДЕЛ.».

Обработайте осциллограмму, руководствуясь рис. 2. Результаты запишите в табл. 2.

Таблица 1

Исходные положения органов управления
универсального генератора импульсов Г5-78

Органы управления	Обозначения на передней панели	Исходное положение
Кнопка	СЕТЬ	Выдвинута
Переключатель	ЗАПУСК	ВНУТР.
Переключатель	ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ	300 kHz
Ручка	ПЛАВНО ЧАСТОТА	Калиброванное ▼
Переключатель	ВРЕМЕННОЙ СДВИГ	100 ns – 1 μs
Ручка	ПЛАВНО ВРЕМЕННОЙ СДВИГ	Калиброванное ▼
Переключатель	ДЛИТЕЛЬНОСТЬ	1 μs
Ручка	ПЛАВНО ДЛИТЕЛЬНОСТЬ	Калиброванное ▼
Переключатель	ФРОНТ, СРЕЗ	0,5 ns
Ручка	ФРОНТ ПЛАВНО	Произвольное
Ручка	СРЕЗ ПЛАВНО	Произвольное
Переключатель	ПОЛЯРНОСТЬ	-НОРМ.
Переключатель	АМПЛИТУДА, V ▼	1,6 – 2
Ручка	БАЗОВАЯ ЛИНИЯ	ОТКЛ. К СЕБЕ
Переключатель	АМПЛИТУДА, V ▼ ▼	Произвольное

Таблица 2

A_{\max}	A	T	τ_{ϕ}	$\tau_{\text{ср}}$	a_1	a_{ϕ}	a_2	$a_{\text{ср}}$	$a_{\text{в}}$	$a_{\text{вн}}$	a_0	$A_{\text{он}}$

3.3.2. Определение частоты и фазы периодических сигналов по фигурам Лиссажу

1) Соедините выходы генераторов со входами каналов осциллографа кабелями со специальными разъемами.

2) Установите органы управления обоих каналов ЭЛО в следующие положения:

- «V/ДЕЛ.» в положение «0,1 V»;
- « \sim , \sim , \sim НЧ» в положение « \sim »;

- «I», «...», «I ± II», «→ →», «II, X – Y» в положение «II, X – Y»;
- «+ –» в положение «+»;
- « $\overline{\sim}$, \perp , \sim » в положение « \sim »;
- «x1, x10» в положение «x10»;
- «АВТ., ЖДУЩ.» в произвольное положение;
- «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» в положение «2 ms»;
- «Синхронизация» в положение «Внеш., X – Y».

3) Установите органы управления двух генераторов синусоидальных сигналов ГЗ-109 в исходные положения согласно табл. 3.

Таблица 3

Исходные положения органов управления
генераторов синусоидальных сигналов ГЗ-109

Органы управления	Обозначения на передней панели	Исходное положение
Кнопка	СЕТЬ	ВКЛ.
Переключатель	НАГРУЗКА	50 Ом
Переключатель	МНОЖИТЕЛЬ	1
Ручка	ПЛАВНО ЧАСТОТА	Произвольное
Переключатель	НАПРЯЖЕНИЕ ВЫХОДА	5 V

Примечание: Ручкой, расположенной рядом с переключателем «НАПРЯЖЕНИЕ ВЫХОДА», варьируется напряжение в заданном пределе.

4) Считая генератор, подключенный ко входу I-го канала осциллографа, генератором образцовой частоты $f_{обр}$, изменяйте частоту генератора, подключенного к другому каналу осциллографа. Зарисуйте полученные фигуры Лиссажу (количество фигур устанавливает преподаватель). Данные запишите в табл. 4.

5) По измеренным параметрам определите неизвестную частоту и фазу.

Таблица 4

№ п/п	Полученное изображе- ние	Образцо- вая ча- стота, $f_{обр}$	Число пересечений ветвей фигуры		Изме- ренная частота, $f_{изм}$	Фаза, град.
			горизон- тальных, $n_{г}$	вертикаль- ных, $n_{в}$		

3.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА О РАБОТЕ

- 1) Наименование и цель работы.
- 2) Схема ЭЛО.
- 3) Изображение полученного импульса с определяемыми параметрами.
- 4) Таблицы результатов измерений и расчётов.

3.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какова структурная схема и принцип действия универсального ЭЛО?
2. Каково назначение электронно-лучевой трубки?
3. Опишите назначение органов управления ЭЛО.
4. Каковы параметры характерной формы импульсов?
5. Каковы основные области применения ЭЛО?
6. Каковы основные характеристики ЭЛО?
7. Как использовать ЭЛО в качестве амплитудного вольтметра?
8. Какие существуют способы измерения частоты с помощью ЭЛО?
9. Какие виды развертки существуют для измерения частоты с помощью ЭЛО?
10. Как измерить фазу посредством ЭЛО?
11. Каковы погрешности измерения ЭЛО?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4: МОСТЫ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: Изучить устройство и принцип действия мостов постоянного и переменного тока.

Задачи работы:

1. Изучить устройство и принцип действия мостов постоянного и переменного тока, освоить методы их использования.
2. Приобрести практические навыки работы с мостами
3. Написать отчет по лабораторному занятию.

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

4.1.1. Общая теория мостовых схем

Мостовые схемы широко применяются в электроизмерительной технике для измерения сопротивления, индуктивности, емкости, добротности катушек, угла потерь конденсаторов, взаимной индуктивности и частоты. На основе мостовых схем создаются приборы для измерения неэлектрических величин (например, температуры, малых перемещений) и различные автоматические и телемеханические устройства. Широкое применение мостовых схем объясняется большой точностью измерений, высокой чувствительностью, возможностью измерения различных величин и т.д.

Схема одинарного моста переменного тока приведена на рис. 1. Плечи моста $a-b$, $b-v$, $a-g$ и $g-v$ содержат в общем случае комплексные сопротивления Z_1 , Z_2 , Z_3 и Z_4 .

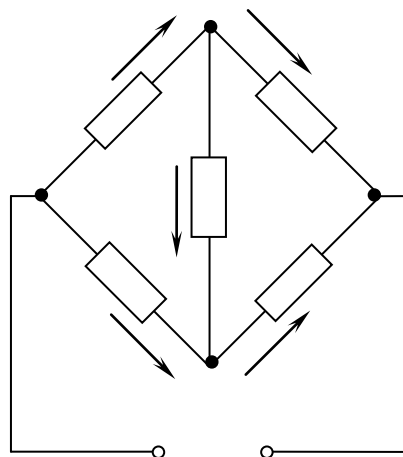


Рис. 1. Схема одинарного моста

В диагональ $b-c$, называемую выходной, включается нагрузка (в частном случае – нуль-индикатор) с сопротивлением Z_0 . Зависимость тока I_0 в нагрузке от параметров моста и напряжения питания U , найденная каким-либо способом, например с помощью законов Кирхгофа, равна:

$$I_0 = U \frac{Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3}{Z_0(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4) + Z_1 Z_2(Z_3 + Z_4) + Z_3 Z_4(Z_1 + Z_2)}$$

Равновесие моста имеет место при подборе плеч, так чтобы $I_0 = 0$, т. е. при

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3. \quad (1)$$

В развернутой форме выражения комплексов полных сопротивлений плеч имеют вид:

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 + jX_1; & Z_3 &= R_3 + jX_3; \\ Z_2 &= R_2 + jX_2; & Z_4 &= R_4 + jX_4. \end{aligned}$$

Подставив значения Z_1, Z_2, Z_3 и Z_4 в (1), получим два равенства для мнимых и вещественных членов:

$$\begin{aligned} R_1 R_4 - X_1 X_4 &= R_2 R_3 - X_2 X_3; \\ R_1 X_4 + R_4 X_1 &= R_2 X_3 + R_3 X_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Наличие двух уравнений равновесия означает необходимость регулирования не менее двух параметров моста переменного тока для достижения равновесия.

Условия равновесия моста могут быть выражены иным способом, указывающим, как должны быть расположены плечи моста.

Учитывая, что

$$\begin{aligned} Z_1 &= z_1 e^{j\varphi_1}; & Z_3 &= z_3 e^{j\varphi_3}; \\ Z_2 &= z_2 e^{j\varphi_2}; & Z_4 &= z_4 e^{j\varphi_4}, \end{aligned}$$

где z_1, z_2, z_3, z_4 – модули полных сопротивлений плеч; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – углы сдвига тока относительно напряжения в соответствующих плечах, равенство (1) можно представить:

$$z_1 z_4 e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)} = z_2 z_3 e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)}.$$

Отсюда

$$\begin{aligned} z_1 z_4 &= z_2 z_3; \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3. \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) равносильны и обязательны для достижения равновесия моста.

Последнее условие ($\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$) указывает, при каком расположении плеч, в зависимости от их характера, можно уравновесить схему. Если смежные плечи, например третье и четвертое, имеют чисто активные сопротивления R_3 и R_4 , т.е. $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$, то два других смежных плеча могут иметь или индуктивный или емкостный характер. Если противоположные плечи чисто активные, то одно из двух других должно быть индуктивным, а другое емкостным.

Мосты, в которых измеряемая величина определяется из условия равновесия (1), называются *уравновешенными*. В ряде случаев измеряемая величина может определяться по значению тока или напряжения выходной диагонали моста. Такие мосты называются *неуравновешенными*.

Измерение сопротивлений одинарным мостом. Схема одинарного моста представлена на рис. 2. Рассмотрим причины, в результате которых ограничен диапазон измеряемых мостом сопротивлений.

Допустим, что измеряемое сопротивление R_X подключается соединительными проводами к зажимам 1-1' первого плеча моста. Обозначим сопротивление соединительных проводов с уче-

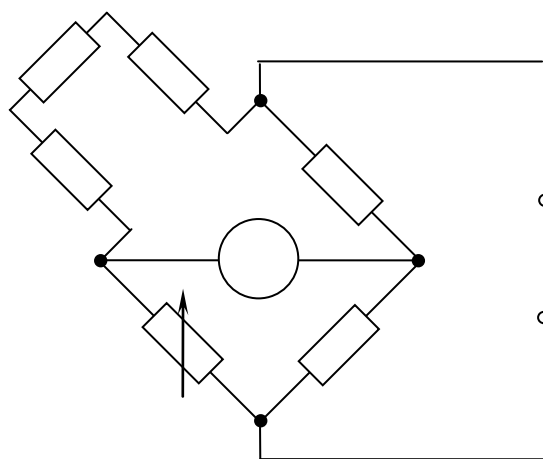


Рис. 2. Двухзажимная схема одинарного моста

том переходных сопротивлений контактов R_{Π} . Обычно значение R_{Π} мало и при коротких медных проводах можно принять: $2R_{\Pi} \leq 0,01$ Ом. Полное сопротивление первого плеча равно:

$$R_1 = R_X + 2R_{\Pi}.$$

Относительная погрешность δ_1 сопротивления первого плеча моста равна:

$$\delta_1 = \frac{R_1 - R_X}{R_X} 100 = 2 \frac{R_{\Pi}}{R_X} 100. \quad (4)$$

Если потребовать, чтобы эта погрешность не превышала 0,1 %, получим нижнюю границу измеряемых одинарным мостом сопротивлений:

$$2 \frac{R_{\Pi}}{R_X} 100 \leq 0,1,$$

откуда $R_X \geq 10$ Ом.

Таким образом, приходим к выводу, что диапазон измеряемых одинарным мостом сопротивлений от 10 до 10^6 Ом ограничен снизу влиянием сопротивлений подводящих проводов и переходных контактов. Существуют приёмы, позволяющие расширить значения указанных границ. Например, область измеряемых одинарным мостом малых сопротивлений можно расширить путем перехода к *четырёхзажимной* схеме включения измеряемого сопротивления (рис. 3). Схема строится так, чтобы сопротивления подводящих проводов в первое плечо моста не входили, а входили в цепи, где их влияние не очень заметно. На рис. 3 $R_{\Pi 1}$ и $R_{\Pi 3}$ включены в диагонали питания и нагрузки. В уравнение равновесия они не входят и погрешность в результате

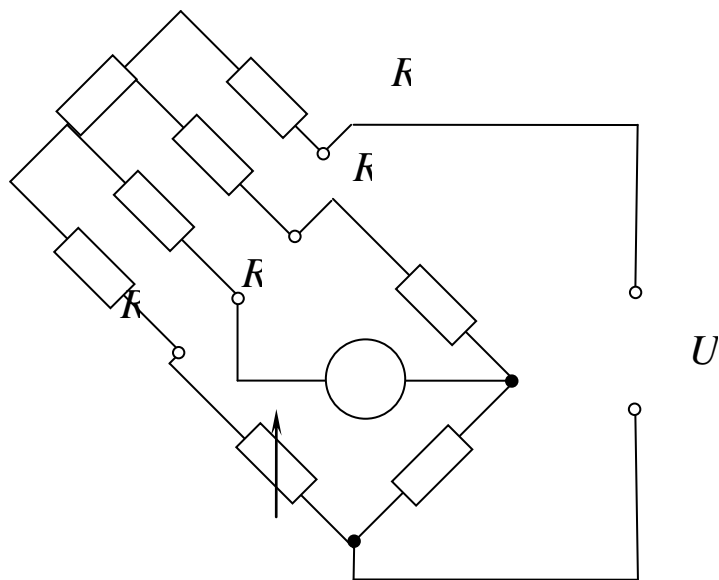


Рис. 3. Четырёхзажимная схема включения измеряемого сопротивления

измерения R_X не вносят; $R_{п2}$ и $R_{п4}$ оказались включенными в третье и второе плечи моста, но значения R_2 и R_3 выбираются достаточно большими, чтобы влиянием $R_{п2}$ и $R_{п4}$ можно было пренебречь.

Мосты для измерения емкости и угла потерь. При измерении емкости исследуемого объекта, например конденсатора, следует учесть, что он обычно обладает потерями, т. е. в нем поглощается активная мощность.

Реальный конденсатор представляется эквивалентной схемой в виде идеальной емкости, последовательно или параллельно соединенной с активным сопротивлением, обуславливающим возникновение эквивалентных потерь. Ток в цепи такого конденсатора опережает напряжение на угол, меньший 90° .

Для измерения емкости конденсаторов с малыми потерями схема моста показана на рис. 4.

Полные сопротивления плеч в данном случае:

$$Z_1 = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}; \quad Z_3 = R_N + \frac{1}{j\omega C_N}; \quad Z_2 = R_1; \quad Z_4 = R_2.$$

Подставив эти выражения в формулу равновесия моста, будем иметь

$$\left[R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right] R_2 = \left[R_N + \frac{1}{j\omega C_N} \right] R_1.$$

Отсюда получим условия равновесия моста:

$$C_x = C_N R_2 / R_1; \quad R_x = R_N R_1 / R_2. \quad (5)$$

Угол потерь δ , дополняющий до 90° угол фазового сдвига тока относительно напряжения, определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_x R_x = \omega C_N R_N. \quad (6)$$

Работа на этом мосте производится следующим образом. Установив $R_N = 0$, изменяют отношение сопротивлений плеч R_2/R_1 до тех пор, пока нуль-индикатор не укажет наименьший ток. После этого переходят к регулировке магазина сопротивле-

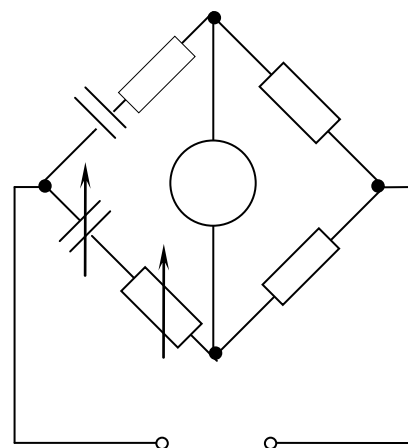


Рис. 4. Схема моста для измерения емкости и угла потерь

ния R_N , добиваясь дальнейшего уменьшения тока в нуль-индикаторе. Затем снова изменяют отношение сопротивлений R_2/R_1 и так далее до тех пор, пока не будет найдено положение равновесия.

Для измерения *емкости конденсаторов с большими потерями* применяют мост с параллельным подключением резистора R_N и конденсатора C_N , так как введение последовательно в плечо большого сопротивления уменьшает чувствительность схемы.

Комплексные сопротивления плеч моста

$$Z_1 = \frac{R_x}{1 + j\omega C_x R_x}; \quad Z_3 = \frac{R_N}{1 + j\omega C_N R_N}; \quad Z_2 = R_1; \quad Z_4 = R_2.$$

При равновесии имеет место следующее соотношение:

$$\frac{R_x R_2}{1 + j\omega C_x R_x} = \frac{R_N R_1}{1 + j\omega C_N R_N}.$$

Последнее уравнение приводит к двум условиям:

$$C_x = C_N R_2 / R_1; \quad R_x = R_N R_1 / R_2.$$

Угол потерь δ для конденсатора C_x , выраженный через $\operatorname{tg} \delta$, при параллельном соединении конденсатора и резистора

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega C_x R_x} = \frac{1}{\omega C_N R_N}.$$

Мосты для измерения индуктивности и добротности. Одно из плеч моста образовано испытуемой катушкой с индуктивностью L_x и активным сопротивлением R_x , а другое – образцовой катушкой с индуктивностью L_N и сопротивлением R_N .

Если для получения равновесия включить резистор R последовательно с катушкой L_N , то условия равновесия моста принимают вид:

$$L_x = L_N R_1 / R_2; \quad R_x = (R_N + R) R_1 / R_2.$$

По полученным значениям R_x и L_x можно определить добротность катушки

$$Q = \omega L_x / R_x.$$

Четырехплечие мосты с использованием в их плечах конденсаторов постоянной емкости и переменных резисторов дают удобные прямые отсчеты значений измеряемых индуктивностей

и коэффициентов добротности Q , но они обладают плохой сходимостью при малых значениях коэффициентов добротности.

4.1.2. Измерительный мост постоянного тока Р4053

Измерительный мост постоянного тока Р4053 предназначен для измерения электрических сопротивлений в диапазоне значений от $1,0$ до 10^{15} Ом и представляет собой одинарный мост с двухзажимным (рис. 5) и четырёхзажимным (рис. 6) подключением измеряемых резистивных элементов.

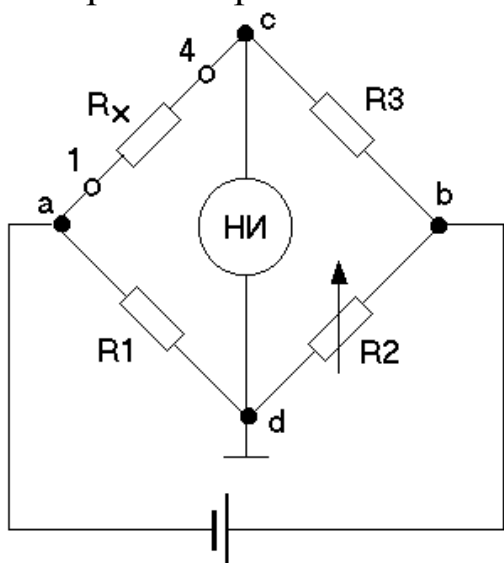


Рис. 5. Одинарный мост постоянного тока с двухзажимным подключением измеряемого резистора

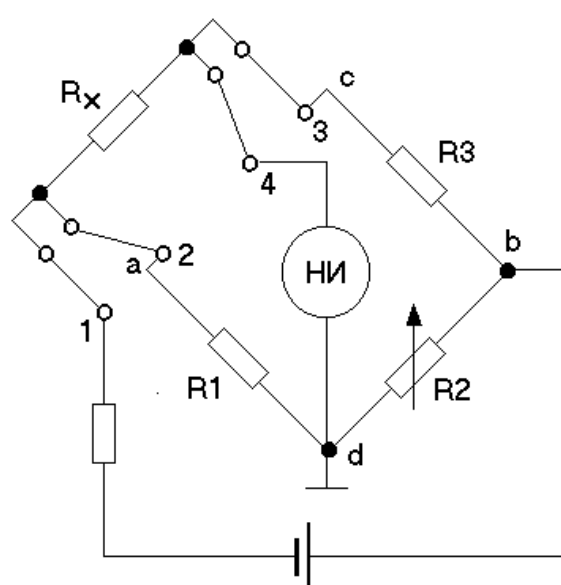


Рис. 6. Одинарный мост постоянного тока с четырёхзажимным подключением измеряемого резистора

Основные технические характеристики моста Р4053 приведены в табл. 1.

Время установления показаний нулевого индикатора (НИ) не превышает 4 секунд при измерении сопротивлений до 10^8 Ом, 15 с – до 10^{10} Ом, 20 с – до 10^{12} Ом, 3 мин – до 10^{14} Ом и 10 мин – до 10^{15} Ом.

Питание моста осуществляется от сети переменного тока частотой $50 \text{ Гц} \pm 2\%$, напряжением $220 \text{ В} \pm 10\%$.

Таблица 1

Пределы измерения	Показания моста	Класс точности	Предел допускаемой основной погрешности, $\pm\%$	Предел дополнительной погрешности, вызываемый изменением температуры на 5°C , %
1	001,000-099,999 Ом	0,1/0,01	$[0,1+0,01 \times \times (100/R_x-1)]$	0,5 от предела допускаемой основной погрешности
2	0100,00-0999,99 кОм	0,05	0,05	0,05
3	01,0000-09,9999 кОм	0,05	0,05	0,05
4	010,000-099,999 кОм	0,05	0,05	0,05
5	0100,00-0999,99 кОм	0,05	0,05	0,05
6	01,0000-09,9999 МОм	0,05	0,05	0,05
7	010,000-099,999 МОм	0,05	0,05	0,05
8	0100,00-0999,99 МОм	0,05	0,05	0,05
9	01,0000-09,9999 ГОм	0,05	0,05	0,05
10	0010,00-0099,99 ГОм	0,1	0,1	0,1
11	0100,00-0999,99 ГОм	0,5	0,5	0,5
12	01,0000-99,9999 ТОм	2,0	2,0	2,0
13	0100,00-0999,99 ТОм	10,0	10,0	10,0

Примечание: Температура окружающего воздуха на 1, 10-13 пределах измерения $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, на 2-9 пределах $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$

Измерение сопротивления одинарным мостом основано на возможности определения в момент равновесия величины измеряемого сопротивления из выражения:

$$R_x = R1 \times \frac{R3}{R2}.$$

Плечи моста $R1$ и $R3$ представляют собой набор резисторов, а $R2$ – плавно регулируемый шестидекадный магазин сопротивлений. Для измерения электрического сопротивления в диапазоне от 10^2 до 10^{15} Ом применяется схема рис. 5, а в диапазоне от 1 до 10^2 – схема рис. 6.

В качестве нулевого индикатора в схеме (рис. 7) используется динамический электрометр. Функциональная схема нулевого индикатора показана на рис. 8.

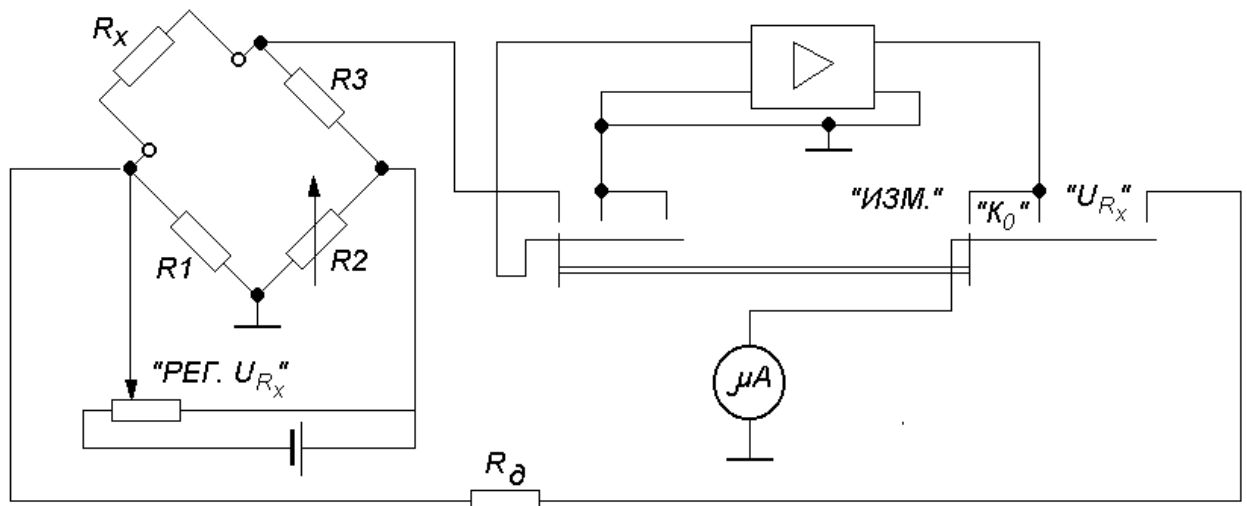


Рис. 7. Одинарный мост с динамическим электрометром в качестве нулевого индикатора: «РЕГ. U_{Rx} » – переменный резистор для установки напряжения на измеряемом сопротивлении; R_0 – добавочное сопротивление в цепи вольтметра; «ИЗМ.», « K_0 », « U_{Rx} » – положение переключателя рода работы; μA – микроамперметр типа М136

Динамический конденсатор типа ДК-67М относится к классу бесконтактных электромеханических преобразователей с высоким входным сопротивлением, который преобразует постоянное напряжение U_{cd} в переменное, поступающее на сетку входной лампы усилителя переменного тока. Для согласования динамического конденсатора с усилителем переменного тока, собранного на транзисторах, применён электрометрический каскад на лампе ЭМ-7.

Для улучшения условий согласования каскадов и взаимозаменяемости транзисторов между усилительными каскадами включены эмиттерные повторители.

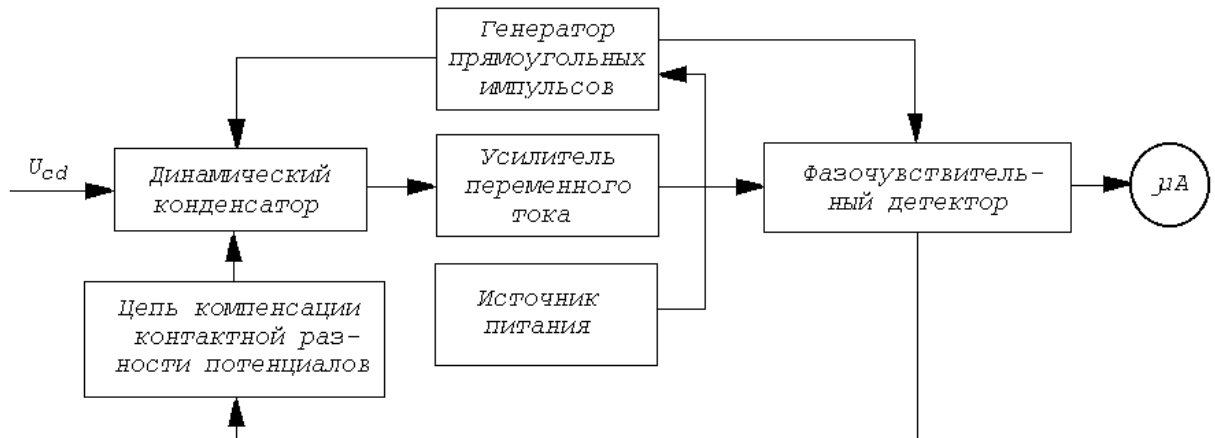


Рис. 8. Функциональная схема нулевого индикатора

На выходе усилителя применён фазочувствительный детектор, собранный по кольцевой схеме.

Регулируемый по частоте генератор прямоугольных импульсов вырабатывает импульсное напряжение прямоугольной формы со скважностью равной 2, предназначенное для питания обмотки возбуждения динамического конденсатора и служащее опорным напряжением для фазочувствительного детектора. Генератор собран по схеме двухтактного преобразователя постоянного напряжения на транзисторах с обратными связями в цепи баз через стабилитроны.

Питание нулевого индикатора и измерительных цепей моста осуществляется от выпрямителей со стабилизацией напряжения.

Для компенсации остаточной контактной разности потенциалов динамического компенсатора в мосте используется вспомогательная мостовая цепочка со стабилизированным источником напряжения. Для грубой и точной компенсации контактной разности потенциалов служат переменные резисторы (на лицевой панели – рукоятка «УСТ.0»).

4.2. ПОРЯДОК РАБОТЫ С МОСТОМ Р4053

4.2.1. Измерение сопротивлений до 10^2 Ом (четырёхзажимная схема рис. 6 одинарного моста)

1. Установите рукоятку переключателя «РОД РАБОТЫ» в положение « K_0 » (контроль нуля).
2. Установите рукоятку переключателя схемы измерения в положение « $1 - 10^2 \Omega$ ».
3. Включите питание моста тумблером, при этом на микроамперметре нулевого индикатора должен появиться световой указатель.
4. Установите световой указатель с помощью корректора микроамперметра (рукояткой «УСТ.0») на отметку «0».
5. Нажмите кнопку «ТОЧНО».
6. Повторите операцию позиции 4.
7. Подключите измеряемый объект к зажимам 1, 2, 3, 4 низкоомными соединительными проводами.
8. Установите рукоятку «РЕГ. U_{Rx} » по часовой стрелке до упора.
9. Установите переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «ИЗМ.».
10. Установите световой указатель микроамперметра на нуль, изменяя показания декадных переключателей магазина проводимости.
11. Нажмите кнопку «ТОЧНО» и зафиксируйте её поворотом относительно оси.
12. Окончательно уравновесьте мост.
13. Выполните отсчёт по показаниям декадных переключателей магазина проводимости.

4.2.2. Измерение сопротивлений от 10^2 до 10^5 Ом (двухзажимная схема рис. 7 одинарного моста)

1. При включенном питании моста выполните операции поз. 1, 2 пункта 4.2.1.
2. Установите рукоятку переключателя схемы измерения в положение « $10^2 - 10^{15} \Omega$ ».
3. Проверьте механический нуль (поз. 4, 5 п. 4.2.1).

4. Подключите измеряемый объект к зажимам 1 и 4 низкоомными соединительными проводами.
5. Выполните поз. 8–13 п. 4.2.1.

4.2.3. Измерение сопротивлений от 10^5 до 10^{12} Ом (двухзажимная схема рис. 7 одинарного моста)

Выполняются все операции п. 4.2.2, но рукоятку «РЕГ. U_{RX} » следует установить в среднее положение.

4.2.4. Измерение сопротивлений от 10^{12} Ом и выше (двухзажимная схема рис. 7 одинарного моста)

1. Откалибруйте плечи мостовой измерительной схемы, для чего:
 - отключите измеряемое сопротивление и закройте крышку измерительной камеры;
 - установите рукоятку переключателя пределов измерения в положение «К1» или «К2»;
 - установите рукоятку переключателя пятой декады проводимости в положение «1» (для «К1»), а остальные – в положение «0» (для «К2»);
 - все рукоятки переключателей декад проводимости установите в положение «0»;
 - установите рукоятку «РЕГ. U_{RX} » по часовой стрелке до упора;
 - установите рукоятку переключателя «РОД РАБОТЫ» в положение «ИЗМ.»;
 - отпустите кнопку «ТОЧНО»;
 - установите рукояткой «К1» или «К2» световой указатель микро-амперметра на отметку «0»;
 - нажмите кнопку «ТОЧНО»;
 - повторно установите рукояткой «К1» или «К2» световой указатель микроамперметра на отметку «0».
2. Измерьте сопротивление, выполнив операции пункта 4.2.3.

4.3. ИЗМЕРИТЕЛЬ L, C, R, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ E7-11

Измеритель L, C, R универсальный E7-11 предназначен для измерения индуктивности, ёмкости, сопротивления, тангенса угла потерь и добротности различных радиодеталей и элементов радиочепей.

На рис. 9 приведён внешний вид прибора, его структурная схема приведена на рис. 10.

Схема состоит из следующих основных частей:

- генератора 100, 1000 Гц;
- источника напряжения постоянного тока (выпрямитель 1В);
- измерительной мостовой схемы;
- усилителя низкой частоты резонансного;
- усилителя низкой частоты апериодического;
- усилителя опорного напряжения;
- источника питания (выпрямитель 20 В).

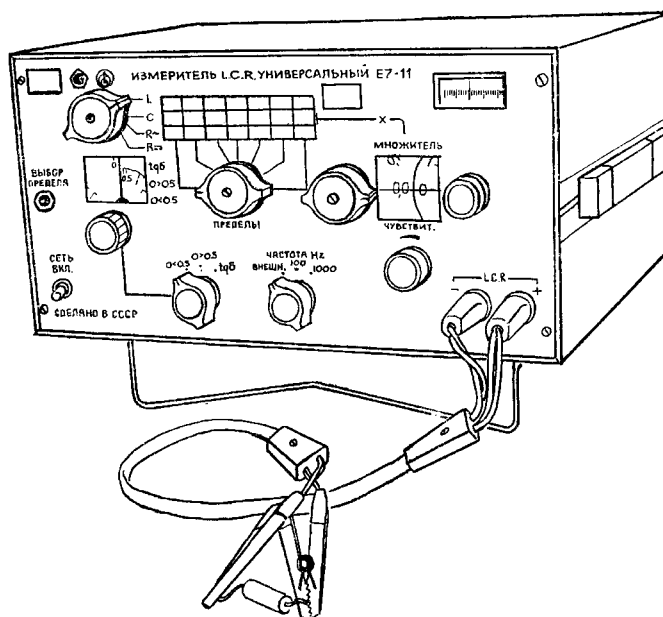


Рис. 9. Внешний вид прибора E7-11

Генератор 100 и 1000 Гц и источник напряжения постоянного тока (выпрямитель 1В) служат для питания измерительной схемы прибора.

Измерительная схема прибора представляет собой мост, коммутацией плеч которого могут быть получены 5 различных вариантов схем для измерения сопротивления, ёмкости и тангенса угла потерь по последовательной схеме замещения, ёмкости и добротности по параллельной схеме замещения, индуктивности и тангенса

угла потерь по параллельной схеме замещения, индуктивности и добротности по последовательной схеме замещения.

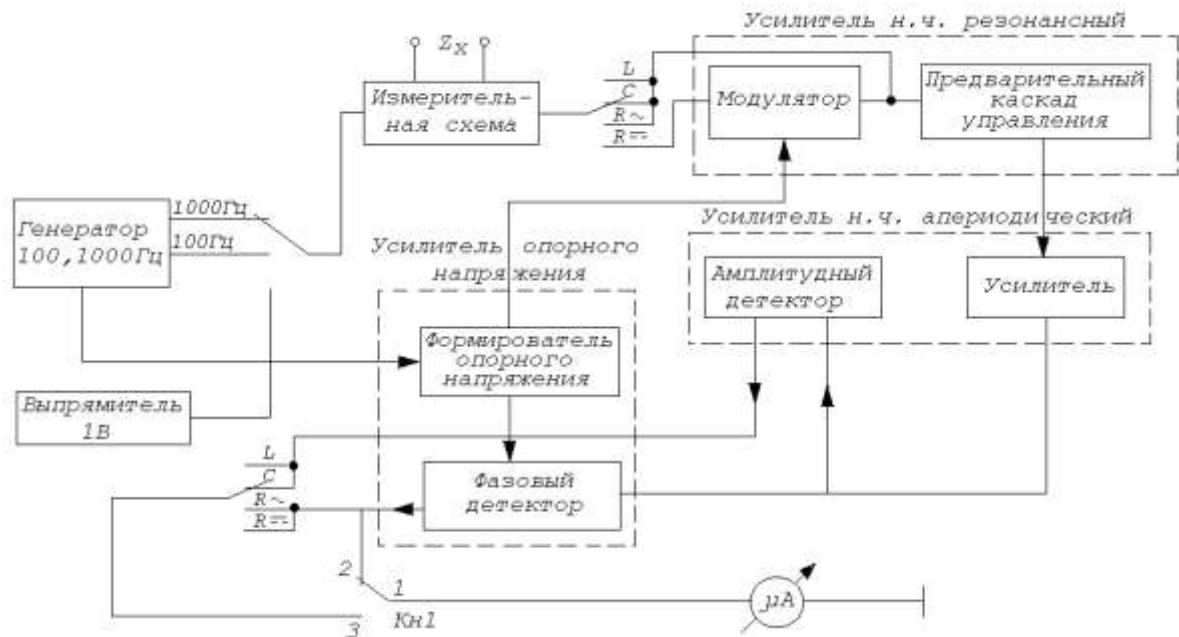


Рис. 10. Электрическая структурная схема измерителя Е7-11

Мосты имеют общее отсчётное устройство при измерениях ёмкости, индуктивности и сопротивления и общее плечо предельных резисторов. Переход от мостов для измерения ёмкости к мостам для измерения индуктивности осуществляется переключением комплексного плеча компенсации фазы.

Напряжение неравновесия мостовой схемы усиливается усилителем сигнала разбаланса и поступает на амплитудный или фазовый детекторы, являющиеся индикаторами баланса измерительной схемы.

Если измерение производится на постоянном токе, то напряжение постоянного тока на выходе моста преобразуется модулятором в напряжение переменного тока для увеличения чувствительности схемы.

Амплитудный детектор служит индикатором баланса при измерениях ёмкости и индуктивности. Фазовый детектор используется при измерении сопротивления резисторов как на постоянном токе, так и на переменном. Применение фазового детектора в этом случае позволяет устранить влияние не уравновешиваемой мостом реактивности резистора на достижение баланса измерительной схемы. Фазовый детектор используется также при выборе предела измерения моста.

Перед включением измерителя органы управления установите в исходные положения:

- ручку «ЧУВСТВИТ.» в крайнее левое положение;
- переключатель « $Q < 0,5$; $Q > 0,5$; $\text{tg } \delta$ » в положение « $\text{tg } \delta$ »;
- отсчётные шкалы « $\text{tg } \delta$ » и «МНОЖИТЕЛЬ» в положение нулевого отсчёта;
- переключатель «ЧАСТОТА Hz» в положение 1000 Гц;
- переключатель «L, C, R \sim , R \rightarrow » и «ПРЕДЕЛЫ» в произвольные положения.

Органы управления должны находиться в исходном положении перед каждым измерением. Выключение прибора может производиться при любом положении органов управления.

Технические характеристики измерителя указаны в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики измерителя E7-11

Измеряемая величина	Пределы измерения	Номер поддиапазона			Основная погрешность
		0	100 Гц	1000 Гц	
Ёмкость при $Q \geq 1$ или при $\text{tg } \delta \leq 0,1$	0,5-1000 пФ	-	7	6-7	$\pm(1+20/C)\%$
	1000 пФ – 10 мкФ	-	3-6	2-5	$\pm 1\%$
	10 – 1000 мкФ	-	1-2	1	$\pm 2\%$
Ёмкость при $Q < 1$	0,5-1000 пФ	-	7	6-7	$\pm(1+20/C+1/Q)\%$
	1000 пФ – 10 мкФ	-	3-6	2-5	$\pm(1+1/Q)\%$
	10 – 1000 мкФ	-	1-2	1	$\pm(2+1/Q)\%$
Индуктивность при $Q \geq 1$ или при $\text{tg } \delta \leq 0,1$	0,3-100 мкГн	-	1	1	$\pm(2+10/L)\%$
	100 мкГн-10 Гн	-	1-5	2-6	$\pm 1\%$
	10-1000 Гн	-	6-7	7	$\pm 2\%$
Индуктивность при $Q < 1$	0,3-100 мкГн	-	-	1	$\pm(2+10/L+1/Q)\%$
	100 мкГн-10 Гн	-	1-5	2-6	$\pm(1+1/Q)\%$
	10-1000 Гн	-	6-7	7	$\pm(2+1/Q)\%$
Сопротивление	0,1-10 Ом	2	1	1	$\pm(2+2/R)\%$
	10 Ом-1Мом	26	2-6	2-6	$\pm(1+2/R)\%$
	1-10 МОм	7	7	-	$\pm(2+2/R)\%$
Добротность	0,1-30	-	1-7	1-7	$\pm(10+0,5Q)\%$
Тангенс угла потерь	0,005-0,1	-	1-7	1-7	$\pm(0,1\text{tg } \delta + 5 \times 10^{-3})\%$

Примечание: В формулах основной погрешности числовые значения измеряемых сопротивлений выражаются в Омах, ёмкостей – в пикофарадах, индуктивностей – в микрогенри.

4.4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЕМ Е7-11

4.4.1. Измерение сопротивлений на постоянном токе

1. Переключатель поставьте в положение «СЕТЬ», при этом должна загореться индикаторная лампочка. Измеритель готов к работе через 15 мин.

2. Подсоедините измеряемый объект к зажимам соединительного кабеля «L, C, R».

3. Переключатель «L, C, R~, R–» установите в положение «R–», переключатель «ЧАСТОТА» – в положение, соответствующее частоте, на которой предполагается проводить измерения.

4. Переключатель «ПРЕДЕЛЫ» поставьте в крайнее левое положение (1-й передел).

5. Ручку «ЧУВСТВИТ.» установите в крайнее правое положение.

6. Выберите нужный предел измерения. Для этого вращением ручки «ПРЕДЕЛЫ» поочерёдно меняйте установленный предел до тех пор, пока знак напряжения разбаланса на индикаторе баланса не изменится на противоположный. Это и будет нужный для измерения предел.

7. Ручкой «ЧУВСТВИТ.» установите стрелку индикатора баланса в пределах 2/3 шкалы.

8. Уравновесьте мост вращением ручек «МНОЖИТЕЛЬ», постепенно увеличивая чувствительность.

Измеренная величина сопротивления равна произведению отсчёта по шкалам «МНОЖИТЕЛЬ» на значение сопротивления, соответствующее выбранному пределу и указанное в таблице на передней панели прибора.

4.4.2. Измерение сопротивлений на переменном токе

1. Подсоедините измеряемый объект к зажимам соединительного кабеля «L, C, R».

2. Переключатель «L,C,R~,R-» установите в положение «R~».

3. Выполните измерения аналогично предыдущему (п. 4.4.1, поз. 4-8).

4.4.3. Измерение ёмкости и тангенса угла потерь

1. Подсоедините измеряемый объект к зажимам соединительного кабеля «L, C, R».

2. Установите:

- переключатель «L, C, R~, R-» в положение «C»;
- переключатель « $Q < 0,5$; $Q > 0,5$; $\text{tg } \delta$ » в положение « $\text{tg } \delta$ »;
- переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в крайнее правое положение (7-й предел);
- шкалу « $\text{tg } \delta$ » на нулевое значение;
- ручку «ЧУВСТВИТ.» в крайнее правое положение.

3. Выберите нужный предел измерения. Для этого на шкале «МНОЖИТЕЛЬ» установите отсчёт 1,090. Нажмите кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА» и вращением ручки «ПРЕДЕЛЫ» влево меняйте установленный предел до тех пор, пока знак фазы напряжения разбаланса на индикаторе баланса не изменится на противоположный. Это будет предел, на котором должны производиться измерения.

4. Отпустите кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА».

5. Ручкой «ЧУВСТВИТ.» установите стрелку индикатора баланса в пределах $2/3$ шкалы.

6. Уравновесьте мост. Для этого уменьшайте показания шкалы переключателя «МНОЖИТЕЛЬ» до получения минимума показаний индикатора баланса, затем вращением плавной шкалы «МНОЖИТЕЛЬ» найдите положение, при котором минимум станет ещё меньше. Если вращение плавной шкалы не меняет показаний индикатора, перейдите к уравновешиванию моста по потерям шкалой « $\text{tg } \delta$ ». Найдя минимум, вновь возвратитесь к уравновешиванию по ёмкости вращением плавной шкалы «МНОЖИТЕЛЬ». Регулировки повторяются при постепенном увеличении чувствительности ручкой «ЧУВСТВИТ.» до величины, обеспечивающей индикацию изменения отсчёта по шкале не менее половины основной погрешности измерения (конец стрелки индикатора отклоняется не менее чем на половину деления шкалы).

7. Произведите отсчёт результата измерения. Измеренная величина ёмкости равна отсчёту по шкале «МНОЖИТЕЛЬ», умноженному на значение ёмкости, указанное в таблице на передней панели прибора для соответствующего положения переключателя «ПРЕДЕЛЫ».

Если измерение проводилось на частоте 100 Гц (горит сигнальная лампочка «С, $L \times 10$ »), отсчёт результата измерения ёмкости должен быть увеличен в 10 раз.

Измеренная величина тангенса угла потерь отсчитывается непосредственно по шкале « $\text{tg } \delta$ ».

4.4.4. Измерение ёмкости и добротности

1. Установите органы управления в исходные положения и выберите предел измерения в соответствии с п. 2.5.3, поз. 3.

2. Переведите переключатель « $Q < 0,5$; $Q > 0,5$; $\text{tg } \delta$ » в положение « $Q < 0,5$ » или « $Q > 0,5$ » согласно ожидаемой величине добротности.

3. Выполните измерение объекта, уравновесив мост поочерёдным вращением ручек шкал «МНОЖИТЕЛЬ» и «Q».

Если отсчёт по шкале «МНОЖИТЕЛЬ» получился с двумя или тремя нулями впереди, не меняя положения шкалы «Q», переведите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» вправо соответственно на 1 или 2 положения и выполните измерения на этом пределе.

4.4.5. Измерение индуктивности и добротности

1. Подсоедините измеряемый объект к зажимам соединительного кабеля «L, C, R».

2. Установите:

- переключатель «L, C, R \sim , R $-$ » в положение «L»;
- переключатель « $Q < 0,5$; $Q > 0,5$; $\text{tg } \delta$ » в положение « $\text{tg } \delta$ »;
- переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в крайнее левое положение (1-й предел);
- шкалу « $\text{tg } \delta$ » на нулевое значение;
- ручку «ЧУВСТВИТ.» в крайнее правое положение.

3. Выберите нужный предел измерения. Для этого на шкале «МНОЖИТЕЛЬ» установите отсчёт 1,090. Нажмите кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА» и вращением ручки «ПРЕДЕЛЫ» влево меняйте

установленный предел до тех пор, пока знак фазы напряжения разбаланса на индикаторе баланса изменится на противоположный. Это будет предел, на котором должны производиться измерения.

4. Отпустите кнопку «ВЫБОР ПРЕДЕЛА».

5. Переведите переключатель « $Q < 0,5$; $Q > 0,5$; $\text{tg } \delta$ » в положение «Q»;

6. Ручкой «ЧУВСТВИТ.» установите стрелку индикатора баланса в пределах $2/3$ шкалы.

7. Уравновесьте мост. Для этого добейтесь поочерёдным вращением ручек шкалы «МНОЖИТЕЛЬ» и шкалы «Q» минимальных показаний индикатора баланса при постепенном увеличении чувствительности до величины, обеспечивающей индикацию разбаланса на $1/2$ величины основной погрешности измерения.

8. Произведите отсчёт результата измерения. Измеренная величина индуктивности равна отсчёту по шкале «МНОЖИТЕЛЬ», умноженному на значение индуктивности, указанное в таблице на передней панели прибора в соответствии с положением переключателя «ПРЕДЕЛЫ».

Измеренная величина добротности отсчитывается непосредственно по соответствующей шкале «Q».

Если отсчёт по шкале «МНОЖИТЕЛЬ» получился с двумя или тремя нулями впереди, не меняя положения шкалы «Q», переведите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» влево соответственно на 1 или 2 положения и повторите измерение на этом пределе.

4.4.6. Измерение индуктивности и тангенса угла потерь

Порядок измерения аналогичен предыдущему, за исключением поз. 5 п. 2.5.5 (переключатель « $Q < 0,5$; $Q > 0,5$; $\text{tg } \delta$ » находится в положение « $\text{tg } \delta$ » как при выборе предела, так и при измерении).

Этот вид измерения рекомендуется в тех случаях, когда результат более удобен в виде «L» и « $\text{tg } \delta$ » или добротность катушки индуктивности больше 30.

4.5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.5.1. Измерение сопротивлений мостом P4053

1. Измерьте сопротивление по заданию преподавателя по четырёхзажимной схеме согласно п. 4.2.1. В соответствии с пределом измерения и классом точности (см. табл. 1) рассчитайте интервал значений измеренной величины сопротивления. Результаты занесите в табл. 3.

2. Измерьте сопротивления по заданию преподавателя по двухзажимной схеме моста согласно п. 4.2.2–4.2.4. Рассчитайте интервал значений измеренных величин сопротивлений и результаты запишите в табл. 3.

Таблица 3

№ пп	4-х зажимная схема моста (п. 4.2.1)			2-зажимная схема моста								
				п. 4.2.2			п. 4.2.3			п. 4.2.4		
	$R_{и}$	ΔR	$R_{и} \pm \Delta R$	$R_{и}$	ΔR	$R_{и} \pm \Delta R$	$R_{и}$	ΔR	$R_{и} \pm \Delta R$	$R_{и}$	ΔR	$R_{и} \pm \Delta R$
1												
2												
...												
n												

4.5.2. Измерение R, C, L мостом E7-11

1. Измерьте сопротивления на постоянном и переменном токе по заданию преподавателя в соответствии с п. 4.4.1 и 4.4.2, результаты измерений запишите в табл. 4.

Таблица 4

№ пп	Измерение сопротивлений					
	На постоянном токе			На переменном токе		
	Измерено R_{\sim}	Вычислено		Измерено R_{\sim}	Вычислено	
		ΔR	$R_{\sim} \pm \Delta R$		ΔR	$R_{\sim} \pm \Delta R$
1						
2						
3						

2. Рассчитайте интервалы действительных значений сопротивлений, используя данные табл. 2, и результаты расчётов запишите в табл. 4.

3. Измерьте C и $\operatorname{tg}\delta$ объектов по заданию преподавателя в соответствии с п. 4.4.3, рассчитайте интервалы действительных значений C и $\operatorname{tg}\delta$, результаты запишите в табл. 5.

Таблица 5

№ п.п.	Измерение C и $\operatorname{tg}\delta$					
	Измерено		Вычислено			
	C	$\operatorname{tg}\delta$	ΔC	$C \pm \Delta C$	$\Delta \operatorname{tg}\delta$	$\operatorname{tg}\delta \pm \Delta \operatorname{tg}\delta$
1						
2						
3						

4. Измерьте L и Q объектов по заданию преподавателя в соответствии с п. 4.4.5, рассчитайте интервалы действительных значений L и Q , результаты запишите в табл. 6.

Таблица 6

№ п.п.	Измерение L и Q					
	Измерено		Вычислено			
	L	Q	ΔL	$L \pm \Delta L$	ΔQ	$Q \pm \Delta Q$
1						
2						
3						

4.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА О РАБОТЕ

1. Схемы одинарных мостов с двухзажимным и четырёхзажимным подключением измеряемого резистора.

2. Таблицы 3-6 измеренных и вычисленных значений сопротивлений, ёмкостей, индуктивностей.

4.7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Объясните принцип действия моста постоянного тока.
2. Запишите условие равновесия моста постоянного тока.
3. Каково назначение мостов постоянного тока?

4. Объясните назначение одинарного моста постоянного тока с четырёхзажимным подключением измеряемого объекта.
5. Объясните назначение двойных мостов.
6. Что понимается под сходимостью моста?
7. В чём разница между мостами уравновешенными и неуравновешенными?
8. Каким образом компенсируются погрешности в мостовых схемах?
9. Запишите условие равновесия моста переменного тока.
10. Чем обуславливается применение последовательной или параллельной схемы замещения конденсатора?
11. Чем объясняется применение шестиплечих мостов переменного тока?
12. Как происходит процесс уравновешивания мостов переменного тока?
13. Дайте определение универсального моста.
14. Каковы достоинства мостов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5: ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ

Цель работы:

Ознакомиться с принципом действия и устройством цифрового вольтметра.

Задачи работы:

1. Изучить характеристики цифрового вольтметра В7-16 и мультиметра М-890.
2. Приобрести навыки работы с приборами.
3. Написать отчет по лабораторному занятию.

5.1. ЦИФРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР В7-16

5.1.1. Технические данные вольтметра В7-16

Отсчет показаний прибора цифровой четырехзначный при времени преобразования 20 мс и трехзначный при времени преобразования 2 мс.

Пределы, дискретность измерения, пределы допускаемых основных погрешностей приведены в табл. 1, где U_k/U_x – конечные значения установленных пределов измерения.

Диапазон частот напряжения переменного тока, измеряемого прибором:

а) на всех пределах измерения при положении переключателя «РОД РАБОТЫ» в положении « $U_{НЧ}$ » составляет 20 Гц–10 кГц;

б) при положении переключателя «РОД РАБОТЫ» в положении « $U_{ВЧ}$ »:

- на пределе измерения «1 V» – 10 кГц – 100 кГц;
- на пределах измерения «10 V, 100 V, 1000 V» – 10 кГц – 20 КГц.

Входное сопротивление прибора при измерении:

- напряжения постоянного тока – не менее 10 МОм;
- напряжения переменного тока – не менее 1 МОм.

Входная емкость не более 120 пФ (без учета емкости входного кабеля) при измерении напряжения переменного тока. Мощность, рассеиваемая на измеряемом сопротивлении, не более 25 мВт.

Прибор выдает уровни напряжений, характеризующие результат измерения, в двоично-десятичном коде 8-4-2-1.

Таблица 1

Наименование измеряемых величин	Наименование пределов измерений	Поддиапазоны измерений	Дискретность	Диапазон частот	Предел допускаемой основной погрешности δ , %
Напряжение постоянного тока, В	«1 V»	$\frac{10^{-4} - 999,9 \cdot 10^{-3}}{10^{-3} - 999 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{10^{-4}}{10^{-3}}$	—	$\pm (0,05 + 0,05U_k / U_x)$ $\pm (0,1 + 0,1U_k / U_x)$
	«10 V»	$\frac{100^{-3} - 999}{10^{-2} - 9,99}$	$\frac{10^{-3}}{10^{-2}}$	—	
	«100 V»	$\frac{10^{-2} - 99,99}{10^{-1} - 99,9}$	$\frac{10^{-2}}{10^{-1}}$	—	
	«1000 V»	$\frac{10^{-1} - 999,9}{1 - 999}$	$\frac{10^{-1}}{1}$	—	
Напряжение переменного тока, В	«1 V»	$10^{-4} - 999,9 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}	20 Гц – 20 кГц	$\pm (0,15 + 0,05U_k / U_x)$
				20 кГц – 50 кГц	$\pm (1 + 0,1U_k / U_x)$
				50 кГц – 100 кГц	$\pm (1,5 + 0,1U_k / U_x)$
	«10 V»	$100^{-3} - 9,999$	10^{-3}	20 Гц – 20 кГц	$\pm (0,5 + 0,02U_k / U_x)$
	«100 V»	$10^{-2} - 99,99$	10^{-2}		
	«1000 V»	$100^{-1} - 999,9$	10^{-1}		
Активное сопротивление, Ом	«1 kΩ»	$\frac{0,1 - 999,9}{1 - 999}$	$\frac{0,1}{1}$	—	$\pm (0,2 + 0,02R_k / R_x)$ $\pm (0,2 + 0,2R_k / R_x)$
	«10 kΩ»	$\frac{1 - 9,999 \cdot 10^3}{10 - 9,99 \cdot 10^3}$	$\frac{1}{10}$	—	
	«100 kΩ»	$\frac{10 - 99,99 \cdot 10^3}{100 - 9,99 \cdot 10^3}$	$\frac{10}{100}$	—	
	«1000 kΩ»	$\frac{100 - 999,9 \cdot 10^3}{10^3 - 999 \cdot 10^3}$	$\frac{100}{10^3}$	—	
	«10 MΩ»	$\frac{10^3 - 9,999 \cdot 10^6}{10^4 - 9,99 \cdot 10^6}$	$\frac{10^3}{10^4}$	—	

Примечание: В числителе указаны величины при времени преобразования 20 мс, в знаменателе – при 2 мс.

5.1.2. Подготовка к работе вольтметра В7-16

На передней панели расположены следующие основные органы управления:

1. Переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ», которым производится выбор предела измерения напряжений постоянного, переменного токов и активного сопротивления;

2. Переключатель «РОД РАБОТЫ», который обеспечивает взаимное соединение блоков и узлов приборов при различных измерениях;

3. Гнездо « $\ominus \approx 1-100 \text{ VR}$ » используется при измерении напряжений постоянного и переменного токов от 100 В до 1000В;

4. Гнезда « -1000 V » и « $\sim 1000 \text{ V}$ » используются при измерении напряжений постоянного и переменного токов от 100 В до 1000 В;

5. Тумблер « $\curvearrowright \curvearrowleft \curvearrowright$ » (автоматический, внешний ручной запуск) служит для переключения режима запуска;

6. Кнопка « \curvearrowright » (ручной пуск) служит для ручного запуска прибора;

7. Гнезда « \curvearrowright » используются при дистанционном запуске прибора;

8. Гнезда «КОНТР. 89,8 к Ω , 89,8 М Ω » (контроль, выход эталонных сопротивлений) используются для калибровки прибора при измерении активных сопротивлений;

9. Потенциометры « \blacktriangledown » (калибровка) и « $\blacktriangleright \mathbb{G}$ » (установка нуля), выведенные под шлиц (грубо) и с ручкой (плавно), служат для калибровки и установки нуля прибора;

10. Тумблер «СЕТЬ» служит для включения и выключения прибора и блока калибровочных напряжений;





















11. Зажимы « \perp », соединенные с корпусом прибора, используются в сигнальных цепях;

12. Ручка «ВР. ИНД» служит для регулирования времени индикации.

Для включения прибора необходимо тумблер «СЕТЬ» установить в верхнее положение, при этом должен загореться:

- один из знаков «+», « \leftarrow » или « \sim »;
- одна из размерностей «mV», «V», « Ω », «k Ω », «M Ω »;
- четыре или три лампы индикаторного табло.

Перед проведением измерений необходимо прогреть прибор и проверить правильность работы узлов в следующем порядке.

1. Установить тумблер «  » в положение «».
2. Установить ручку «ВР. ИНД» в крайнее левое положение до упора против часовой стрелки.
3. Установить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение « » (установка нуля) и ручкой « » (установка нуля «ПЛАВНО») установить на индикаторном табло показания «0000» с равновероятным изменением знака полярности (допускается установка показаний «+0000» или «-0000» как с изменением, так и без изменения знака полярности на противоположный; при установке нуля с преобладанием одного из знаков полярности возможно появление на цифровом табло показания «0001»).
4. Установить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «» (калибровка) и ручкой «» (установка калибровки «ПЛАВНО») установить на индикаторном табло показание, равное значению, указанному на шильдике прибора (допускается установка на индикаторном табло показания, отличающегося от указанного на шильдике прибора на знак младшего разряда ± 1).
5. В случае невозможности выполнения вышеуказанных операций установка нуля и калибровочного значения выполняется в такой последовательности:
 - установить ручку «» (установка калибровки «ПЛАВНО») в среднее положение;
 - установить ручку « » (установка нуля «ПЛАВНО») в среднее положение;
 - установить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение « »;
 - потенциометр, расположенный справа от ручки «» (выведен «под шлиц»), установить в крайнее положение, вращая его по часовой стрелке до упора;
 - потенциометр, расположенный справа от ручки « » (выведен «под шлиц»), установить в крайнее положение, вращая его против часовой стрелки до упора (при этом на индикаторном табло индицируется максимально возможное четырехзначное показание со знаком «минус»);
 - вращая потенциометр « » (установка нуля «ГРУБО») по часовой стрелке, установить на индикаторном табло показание «0000» (не следует особо тщательно выставлять показание «0» в

младшем разряде именно потенциометром «▶G», при необходимости это можно сделать ручкой «▶G», для чего она заранее была выставлена в среднее положение);

– установить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «▼»;

– вращая потенциометр «▼» (установка калибровки «ГРУБО») против часовой стрелки, установить на индикаторном табло показание, равное значению, указанному на шильдике прибора (не следует особо тщательно выставлять показание младшего разряда именно потенциометром «▼», при необходимости это можно сделать ручкой «▼», для чего она заранее была выставлена в среднее положение).

6. Установить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «R», а переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» – в положение «100 kΩ – 100 V».

7. Подключить к разъему « $\ominus \approx 1-100 \text{ VR}$ » кабель и закоротить его концы. Ручкой «▶G» («ПЛАВНО») выставить на индикаторном табло показание «0000».

8. Раскоротить концы кабеля и соединить его потенциальный конец с гнездом «КОНТР. 89,8 kΩ». Регулировочными органами «▼» установить на индикаторном табло показание «89,8 kΩ» + 1 сч.

9. Закоротить концы кабеля, переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» перевести в положение «10 MΩ». Ручкой «▶G» («ПЛАВНО») выставить на индикаторном табло показание «0000» (при необходимости пользоваться указаниями п.7).

10. Раскоротить концы кабеля и соединить его потенциальный конец с гнездом «КОНТР. 89,8 MΩ». Регулировочными органами «▼» установить на индикаторном табло показание «89,8 MΩ» + 1 сч.

5.1.3. Измерение напряжения постоянного тока

1. Подключить кабель к разъему « $\ominus \approx 1-100 \text{ VR}$ ».


2. Ознакомиться с органами управления В7-16 и подготовить прибор к работе.

3. Установить ручку «ВР. ИНД» в положение, обеспечивающее удобное время индикации.

4. Установить тумблер «» в положение «» (автоматический запуск).


5. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение, соответствующее величине измеряемого напряжения (если величина измеряемого напряжения неизвестна, то переключатель поставить на максимальный предел измерения).

6. Поставить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «U – 0s» (при необходимости ослабить помехи, поступающие на вход прибора, переключатель установить в положение «U – 0,1s» или «U – 1s», при этом время измерения составляет не более 1 с и 5 с соответственно).


7. Подать измеряемое напряжение на гнездо « ≈ 1–100 VR».

8. Произвести отсчет показаний (при появлении на индикаторном табло сигнала «П» переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение высшего предела измерений).

5.1.4. Измерение напряжения переменного тока


1. Подключить кабель к разъему « ≈ 1–100 VR».



2. Выполнить проверку установки нуля и калибровки.

3. Установить тумблер «» в положение «» (автоматический запуск).

4. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение, соответствующее величине измеряемого напряжения (если величина измеряемого напряжения неизвестна, то переключатель поставить на максимальный предел измерения).

5. Поставить переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «U ~ ВЧ», соответствующее частоте измеряемого напряжения 10 кГц – 100 кГц или «U ~ НЧ», соответствующее частоте 20 Гц – 10 кГц.

6. Подать измеряемое напряжение на гнездо « ≈ 1–100 VR».

7. При ручном запуске тумблеры «» перевести в положение «» и выполнить измерение нажатием кнопки. Отсчет показаний производить не менее, чем через 10 с при установке переключателя «РОД РАБОТЫ» в положение «U ~ НЧ» и не менее, чем через 5 с – в положение «U ~ ВЧ».

5.1.5. Измерение активного сопротивления

1. Подключить кабель к разъему « $\ominus \approx 1-100 \text{ VR}$ ».
2. Выполнить проверку установки нуля и калибровки.
3. Установить тумблер « $\leftarrow \rightarrow \updownarrow$ » в положение « \leftarrow » (автоматический запуск).
4. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение наивысшего предела измерения.
5. Подсоединиться концами кабеля к измеряемому сопротивлению и произвести отсчет показаний по индикаторному табло.

5.2. МУЛЬТИМЕТР М-890

5.2.1. Технические данные мультиметра М-890

Отсчет показаний прибора цифровой трехзначный, выполненный на жидкокристаллическом индикаторе.

Пределы измерения, пределы допускаемых погрешностей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование измеряемых величин	Наименование пределов измерений	Поддиапазоны измерений	Дискретность	Диапазон частот	Предел допускаемой погрешности, %
Напряжение постоянного тока, V	«200 mV»	.000 – .199	100 μV	–	$\pm 0,5$
	«2 V»	0.00–1.99	1 mV	–	
	«20 V»	00.0–19.9	10 mV	–	
	«200 V»	00.0–199	100 mV	–	
	«1000 V»	000–999	1 V	–	
Напряжение переменного тока, V	«2 V»	.000–1.99	1 mV	40-200 Hz	$\pm 1,2$
	«20 V»	0.00–19.9	10 mV		$\pm 0,8$
	«200 V»	00.0–199	100 mV		$\pm 1,2$
	«700 V»	000–699	1 V		
Активное сопротивление, Ω	«200 Ω »	00.0–199	0,1 Ω	–	$\pm 0,8$
	«2 k Ω »	.000–1.99	1 Ω	–	
	«20 k Ω »	0.00–19.9	10 Ω	–	
	«200 k Ω »	00.0–199	100 Ω	–	

	«2 MΩ»	.000–1.99	1 k Ω	–	
	«20 MΩ»	0.00–19.9	10 k Ω	–	±1,0
	«200 MΩ»	00.0–199	100 k Ω	–	±5,0
Постоян- ный ток, А	«2 mA»	.000–1.99	1 μA	–	±0,8
	«20 mA»	0.00–19.9	10 μA	–	
	«200 mA»	00.0–199	100 μA	–	
	«20 A»	0.00–19.9	10 mA	–	±2,0
Перемен- ный ток, А	«20 mA»	0.00–19.9	10 μA	40-400 Hz	±1,2
	«200 mA»	00.0–199	100 μA		±2,0
	«20 A»	0.00–19.9	10 mA		±3,0

Диапазон частот напряжения переменного тока, измеряемого прибором составляет 40–200 Гц.

Входное сопротивление прибора при измерении:

- напряжения постоянного тока – не менее 10 МОм;
- напряжения переменного тока – не менее 10 МОм.

В зависимости от модификации прибора предусмотрены дополнительные измерения:

- емкости от 1 pF до 20 μF;
- частоты переменного тока до 20 kHz;
- температуры от –50 °С до 400 °С.

5.2.2. Подготовка к работе мультиметра М-890

На передней панели расположены следующие основные органы управления:

1. Переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ», которым производится выбор предела измерения напряжений, токов и активного сопротивления;

2. Гнездо «V/Ω» используется при измерении напряжений постоянного и переменного токов, сопротивления;

3. Гнездо «mA» используется при измерении постоянного и переменного токов до 200 mA;

4. Гнездо «20 A max» используется для измерения тока цепи до 20 А;

5. Гнездо «COM» является общим при всех видах измерений;

6. Кнопка «POWER» служит для включения и выключения прибора.

Для включения прибора необходимо нажать кнопку «POWER», при этом на жидкокристаллическом индикаторе должна появиться индикация типа измеряемой величины, размерности или знака.

5.2.3. Измерение напряжения постоянного тока

1. Подключить один измерительный щуп к гнезду «СОМ», другой к гнезду «V/Ω».
2. Ознакомиться с органами управления и подготовить прибор к работе.
3. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение $V_{\text{---}}$, соответствующее величине постоянного измеряемого напряжения (если величина измеряемого напряжения неизвестна, то переключатель поставить на максимальный предел измерения).
4. Подать с помощью щупов измеряемое напряжение на гнезда «V/Ω» и «СОМ».
5. Произвести отсчет показаний (при появлении на индикаторном табло сигнала «I.» переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение высшего предела измерений).

5.2.4. Измерение напряжения переменного тока

1. Подключить один измерительный щуп к гнезду «СОМ», другой к гнезду «V/Ω».
2. Ознакомиться с органами управления и подготовить прибор к работе.
3. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «V~», соответствующее величине измеряемого напряжения (если величина измеряемого напряжения неизвестна, то переключатель поставить на максимальный предел измерения).
4. Подать с помощью щупов измеряемое напряжение на гнезда «V/Ω» и «СОМ».
5. Произвести отсчет показаний (при появлении на индикаторном табло сигнала «I.» переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение высшего предела измерений).

5.2.5. Измерение активного сопротивления

1. Подключить один измерительный щуп к гнезду «СОМ», другой к гнезду «V/Ω».
2. Ознакомиться с органами управления и подготовить прибор к работе.
3. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «Ω», соответствующее наивысшему пределу измерения.
4. Подсоединиться концами щупов к измеряемому сопротивлению и произвести отсчет показаний по индикаторному табло.

5.2.6. Измерение постоянного тока

1. Подключить один измерительный щуп к гнезду «СОМ», другой к гнезду «mA».
2. Ознакомиться с органами управления и подготовить прибор к работе.
3. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «A—», соответствующее наивысшему пределу измерения тока.
4. Подключить щупы в цепь измеряемого тока и произвести отсчет (при появлении на индикаторном табло сигнала «I.» переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение высшего предела измерений).
5. Измерение тока на пределе 20 А необходимо производить при подключении измерительных щупов между гнездами «СОМ» и «20 А max». Время измерения максимальной величины тока, равный 20 А, не должно составлять более 15 с.

5.2.7. Измерение переменного тока

1. Подключить один измерительный щуп к гнезду «СОМ», другой к гнезду «mA».
2. Ознакомиться с органами управления и подготовить прибор к работе.
3. Установить переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» в положение «A~», соответствующее величине измеряемого тока (если величина измеряемого тока неизвестна, то переключатель поставить на максимальный предел измерения).

4. Подключить щупы в цепь измеряемого тока и произвести отсчет (при появлении на индикаторном табло сигнала «I.» переключатель «ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ» установить в положение высшего предела измерений).

5. Измерение тока на пределе 20 А необходимо производить при подключении измерительных щупов между гнездами «СОМ» и «20 А max». Время измерения максимальной величины тока, равный 20 А, не должно составлять более 15 с.

5.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с расположением органов управления цифрового прибора.

2. Привести измерительный прибор в рабочее состояние.

3. Подключить цифровой прибор к генератору или к лабораторному стенду.

4. Произвести измерения напряжений для заданных преподавателем форм сигналов (синусоидальный, треугольный или прямоугольный).

5. Сравнить результаты измерений. Сделать выводы.

6. Произвести измерения тока, сопротивления и емкости для заданных преподавателем цепей на лабораторном стенде. Оценить погрешности измерений.

5.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

1. Цель работы.

2. Описание технических данных цифрового прибора.

3. Описание процессов измерения по указанию преподавателя. Значения опытных данных.

4. Выводы о проделанной работе.

5.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Объясните принцип действия В7-16 .

2. Каким образом достигается высокое входное сопротивление прибора?

3. Что называется дискретизацией непрерывной величины по времени?

4. Что называется квантованием по уровню непрерывной величины?
5. В каком виде может быть выражено число в десятичной системе счисления?
6. Как можно выразить любое число в двоичной системе счисления?
7. По какому признаку коды подразделяются на последовательные и параллельные?
8. Как понимать двоично-десятичный код 8-4-2-1?
9. Какие существуют основные методы преобразования непрерывных измеряемых величин в коды по способу преобразования?
10. Что представляет собой статическая характеристика преобразования ЦИУ?
11. Назовите и объясните статические погрешности ЦИУ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6: ПОВЕРКА ТЕРМОМЕТРА МНОГОКАНАЛЬНОГО

Цель работы:

Изучить принцип действия и устройство термометра многоканального ТМ 5103.

Задачи работы:

1. Освоить общую единую для всех контрольно-измерительных приборов (КИП) методику их поверки.
2. Изучить характеристики термометра многоканального ТМ5103.
3. Выполнить поверку термометра многоканального ТМ5103.
4. Написать отчет по лабораторному занятию.

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

6.1.1. Поверка контрольно-измерительных приборов

Поверку средств измерений (СИ) проводят для установления пригодности к применению путем сравнения его показаний с действительным значением измеряемой величины. За действительное значение измеряемой величины принимается показание, которое получено при измерении этой величины образцовым СИ.

Различие в показаниях поверяемого (рабочего) и более точного СИ обусловлено причинами конструктивного, технологического и эксплуатационного характера. Образцовые СИ выполняются более тщательно, а иногда принцип их действия основан на более современном методе измерения. В результате этого показание образцового СИ ближе к истинному значению измеряемой величины, которое, однако, при измерении даже самыми совершенными СИ, остается неизвестным. Поэтому говорят не об истинном значении измеряемой величины, а о ее действительном значении, за которое принимается показание образцового СИ.

По способу выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности СИ. *Абсолютная погрешность* прибора – разность между показаниями прибора $x_{п}$ и истинным (действительным) значением измеряемой величины x : $\Delta = x_{п} - x$.

Относительная погрешность прибора – отношение абсолютной погрешности прибора к истинному (действительному) значению измеряемой величины: $\delta = \Delta/x$, или в процентах – $\delta = 100\Delta/\Delta x$, где, если $x \gg \Delta$, то вместо x с достаточной степенью точности можно использовать значение $x_{\text{п}}$. *Приведенная погрешность* прибора – отношение в процентах абсолютной погрешности прибора к нормирующему значению: $\delta = 100\Delta/x_{\text{норм}}$. Нормирующее значение $x_{\text{норм}}$ принимается равным верхнему пределу измерения x_{max} , диапазону измерения $x_{\text{max}} - x_{\text{min}}$ или длине шкалы.

Точность ряда СИ с различными пределами измерения может сопоставляться только по их приведенным погрешностям. Так как абсолютная, относительная и приведенная погрешности взаимосвязаны, то, зная одну из них, легко определить остальные. Однако должны существовать какие-то реальные границы максимально допустимой погрешности (основной и дополнительной), при выходе за которые СИ должно считаться непригодным к эксплуатации.

Наибольшая (без учета знака) погрешность СИ, при которой оно может быть признано годным к эксплуатации, называется *пределом допускаемой погрешности СИ*.

В зависимости от значений пределов допускаемых основных погрешностей СИ относят к определенному классу точности. *Класс точности СИ* - это обобщенная характеристика СИ, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами СИ, влияющими на точность, значения которых устанавливаются государственными стандартами на отдельные виды СИ. Класс точности СИ характеризует его свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этого СИ.

Класс точности измерительных приборов выражается одним числом, выбираемым из ряда $(1;1.5;2;2.5;4;5)10^n$, где $n = 1;0;-1;-2$ и т.д. Класс точности указывается на шкале прибора.

По классу точности k и пределу измерения прибора можно оценить пределы допускаемой погрешности, причем предел допускаемой абсолютной погрешности одинаков для всех отметок шкалы:

$$\Delta = \pm(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})k/100,$$

а предел допускаемой относительной погрешности зависит от текущего значения измеряемой величины x_i : $\delta = \Delta/x_i$ (увеличивается к началу шкалы).

Погрешности СИ, проявляющиеся при нормальных условиях эксплуатации, называют *основными*, при отступлении от этих условий возникают *дополнительные* погрешности. Кроме того, даже при нормальных условиях эксплуатации показаниям прибора присуща вариация. *Вариацией* называют числовое значение некоторой разности показаний, обнаруживающейся при измерении одной и той же величины. Причиной вариации является несовершенство измерительных механизмов, наличия трения в них, люфтов и т.д.

Поверка СИ представляет собой экспериментальное нахождение основной, дополнительной погрешностей и вариации путем сопоставления его показаний с показаниями образцового прибора. Общая для всех КИП поверочная схема приведена на рис. 1. Реальные схемы приборов, измеряющих различные параметры, могут быть более сложными, но наличие указанных элементов в каждой из них необходимо. Схемы могут быть и более простыми, если функции нескольких элементов выполняет одно и то же устройство.

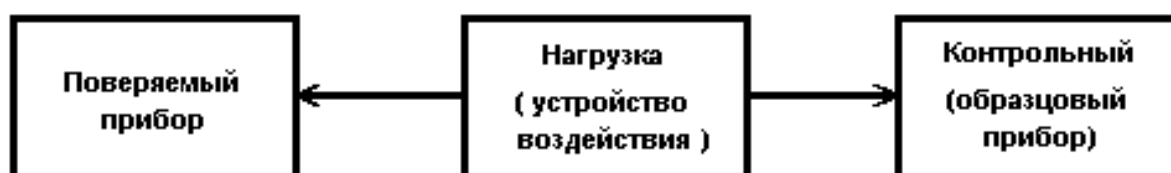


Рис. 1. Структурная схема поверки

В результате поверки должны быть выявлены основная погрешность (в абсолютном и приведенном выражениях) и вариация для всех оцифрованных точек шкалы. Дополнительные погрешности прибора определяются при поверке не всегда.

Поверка прибора заканчивается составлением заключения о его пригодности к эксплуатации. Положительное заключение дается в тех случаях, когда основные погрешности прибора не превышают допустимых значений. Для составления заключения о пригодности прибора к эксплуатации необходимо отыскать среди выявленных поверкой основных погрешностей максимальную по числовому значению, вычислить по ней максимальную приведенную

погрешность и сопоставить ее с классом точности, указанным на приборе. Если максимальная приведенная погрешность превысит класс точности, то прибор бракуют или переводят в более низкий класс. В случаях, когда класс точности имеет большее числовое значение, прибор считают пригодным к эксплуатации.

6.1.2. Описание термометра многоканального ТМ 5103

Термометр многоканальный ТМ 5103 (ТМ) предназначен для измерения и контроля температуры и других неэлектрических величин, преобразованных в электрические сигналы силы и напряжения постоянного тока или активное сопротивление постоянному току. ТМ используется в различных технологических процессах в промышленности. ТМ является многофункциональным микропроцессорным прибором и предназначен для функционирования как в автономном режиме, так и под управлением компьютерной программы через последовательный интерфейс.

Измерительные каналы ТМ предназначены для конфигурации с унифицированными входными электрическими сигналами постоянного тока 0...5, 0...20 или 4...20 мА, с термопреобразователями сопротивления (ТС) и преобразователями термоэлектрическими (ТП), а также для измерения напряжения постоянного тока до 100 мВ и сопротивления постоянному току до 320 Ом.

Зависимость измеряемой величины от входного сигнала ТМ может быть линейная, с функцией усреднения (демпфирования), а для входного унифицированного сигнала также и с функцией извлечения квадратного корня.

ТМ осуществляет функцию сигнализации и автоматического регулирования контролируемых параметров, имеет восемь измерительных каналов и восемь каналов управления (коммутации) электрическими цепями (реле), по конструктивному исполнению является щитовым.

Диапазоны измерений, входные параметры и пределы допускаемых основных приведенных погрешностей измеряемых величин относительно НСХ с учетом конфигураций измерительных каналов ТМ приведены в табл. 1 и 2.

Время установления рабочего режима не более 30 мин.

Тип первичного преобразователя	W_{100}	Диапазон измерений, °C	Входные параметры			Пределы допускаемой основной приведенной погрешности относительно НСХ, %	
			по НСХ		Входное сопротивление, кОм		
			сопротивление, Ом	Т.Э.Д.С., мВ			
50М	1,4280	-50... +200	39,23... 92,78	-	-	±0,25	
100М			78,45 ...185,55				
50М	1.4260		39,35... 92,62				
100М			78,69 ...185,23				
50П	1,3910		-50... +600				40,00...158,59
100П							80,00...317,17
Pt100	1,3850	-200... 600	18,52...313,71				
ТЖК (J)	-	0... + 1200	-	0... 69,536	не менее 100	± 0,5	
ТХК (L)		0...+800		0... 66,469			
ТХА (K)		0...+1300		0... 52,398			
ТПП (S)		0...+1700		0... 17,942			
ТВР(А-1)		0...+2500		0... 33,638			

Предел допускаемой дополнительной погрешности ТМ, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от нормальной (20 ± 5) °С до любой температуры в пределах ($-10...+50$) °С на каждые 10 °С изменения температуры, не превышает 0,5 предела допускаемой основной погрешности.

Предел допускаемой основной погрешности срабатывания сигнализации не превышает последнего индицируемого разряда измеренного значения.

Таблица 2

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Входные параметры			Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %
		Сопротивление, МОм, не менее	Напряжение, мВ, не более	Максимальный ток через измеряемое сопротивление, мА	
Напряжение, мВ	0...100	1			±0,25
	0...75				
Ток, мА	0...20	-	400	-	
	4...20				
	0...5				
Сопротивление, Ом	0...320			1,3	

Исполнительные реле каналов сигнализации обеспечивают коммутацию:

переменного тока сетевой частоты:

- при напряжении 250 В до 5 А на активную нагрузку;
- при напряжении 250 В до 2 А на индуктивную нагрузку;

постоянного тока:

- при напряжении 250 В до 0,1 А на активную и индуктивную нагрузки;
- при напряжении 30 В до 2 А на активную и индуктивную нагрузки.

Питание ТМ осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 220 В, потребляемая мощность от сети переменного тока при номинальном напряжении не превышает 20 В·А.

В состав ТМ входят:

- трансформаторный блок питания с линейными стабилизаторами;
- импульсный блок питания с линейными стабилизаторами; восемь гальванически развязанных входных усилителей; двухзвенный RC-фильтр (на каждом канале); модуль аналого-цифрового преобразователя (АЦП); микропроцессорный блок управления;
 - модуль индикации с клавиатурой управления;
 - восемь исполнительных реле;
 - модуль клеммных колодок для внешних соединений; модуль интерфейса.

Трансформаторный блок питания преобразует сетевое напряжение 220 В частотой 50 Гц в постоянные стабилизированные напряжения ± 5 В, ± 8 В для питания микропроцессора, интерфейса, АЦП, и нестабилизированные напряжения +10 В и +24 В для питания импульсного блока питания и блока реле. Выключение питания не предусмотрено, так как ТМ предназначены для работы в непрерывном режиме.

Импульсный блок питания преобразует нестабилизированное напряжение +10 В в стабилизированные 8 пар напряжений ± 5 В для питания входных усилителей. Входные усилители усиливают входные сигналы и тестируют цепи для определения обрыва датчика. Двухзвенный RC-фильтр обеспечивает высокую помехоустойчивость ТМ.

Аналого-цифровой преобразователь преобразует входной аналоговый сигнал в код, поступающий в микропроцессорный блок управления.

Микропроцессорный блок управления выполняет следующие функции:

- рассчитывает текущее значение измеряемой величины (по данным опроса АЦП);
- управляет модулем индикации, т.е. выводит текущее значение измеряемой величины или значение уставки на индикатор;
- опрашивает клавиатуру;
- управляет модулем интерфейса.

В модуль индикации и клавиатуры входят:

- светодиодный четырехразрядный индикатор измеряемой величины или уставки;
- светодиодный одноразрядный индикатор номера канала;
- восемь одиночных индикаторов состояния реле;

- четыре одиночных индикатора режимов индикации;
- по одному одиночному индикатору: индикатор ввода пароля и индикатор редактирования уставок; кнопка изменения уставок (скрытая);
- кнопка «>» выбора режима/изменения редактируемого разряда;
- кнопки «Λ» и «V» увеличения / уменьшения номера канала или изменения редактируемого разряда.

ТМ имеет по две независимые уставки на каждый измерительный канал, которые могут быть как верхними, так и нижними, и могут быть связаны с любым исполнительным реле. Исполнительные реле управляются микропроцессором и работают в соответствии с внутренней таблицей связей реле и уставок каналов, которые редактируются пользователем. Модуль интерфейса предназначен для связи с ЭВМ.



Рис. 2. Внешний вид ТМ 5103

На лицевой панели ТМ (рис. 2) расположены:

- основное табло – четырехразрядный светодиодный индикатор измеряемой величины или уставки;
- дополнительное табло – одноразрядный светодиодный индикатор номера канала;
- кнопки «Λ» и «V», позволяющие просматривать значения измерений или уставок, увеличивая или уменьшая номер канала;
- клавиша «>», позволяющая выбрать один из четырех режимов индикации:

- 1) циклический просмотр измерений по всем каналам;
- 2) просмотр измерений по любому выбранному каналу;
- 3) просмотр уставки 1 по любому выбранному каналу;
- 4) просмотр уставки 2 по любому выбранному каналу;

- скрытая кнопка изменения уставок дает пользователю возможность изменить с клавиатуры значения уставок.

Для изменения уставок необходимо нажать и удерживать скрытую кнопку в нажатом состоянии до высвечивания индикатора «ПАРОЛЬ», после чего необходимо с помощью клавиш «>», «Λ» и «V» ввести пароль (новый пароль устанавливается только с ЭВМ). Если пароль был введен с ошибкой, то ТМ переходит в режим индикации измерений (состояние ТМ после включения питания). Если пароль введен верно, высвечивается индикатор «УСТ» и ТМ переходит в режим редактирования уставок. Для выхода из этого режима нужно нажать скрытую кнопку. Клавиша «>» используется для выбора редактируемого разряда уставки. Клавиши «Λ» и «V» используются для увеличения / уменьшения либо мигающего редактируемого разряда уставки, либо для изменения номера уставки / канала. Задание конфигурации ТМ производится только с ЭВМ.

Основное табло предназначено для отображения числовых значений текущего измеряемого параметра, уставок, а также символьных сообщений о состоянии ТМ (сообщений об ошибках). Дополнительное табло предназначено для отображения номера канала.

Индикатор «1» отображает состояние реле коммутируемого канала номер 1. Если реле номер 1 включено (замкнуты нормально разомкнутые контакты), то индикатор «1» – высвечивается, если реле выключено (контакты реле размыкают канал), то индикатор «1» – не высвечивается. Аналогично работают индикаторы «2» – «8» и реле 2-8 соответственно.

На задней панели ТМ расположены: клеммные колодки (два ряда по 12 контактов) для подключения термопреобразователей; разъем для подключения сети и внешних исполнительных устройств; клемма заземления; разъем интерфейса.

6.2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Термометр многоканальный ТМ 5103
2. Прибор универсальный измерительный Р4833.

6.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по работе с Р4833.
2. Нажать кнопку «PmV».
3. Произвести установку (контроль) рабочего тока следующим образом:
 - а) нажать кнопки НЭ, Г, БП;
 - б) нажать кнопку $\Delta 1$;
 - в) произвести установку (контроль) рабочего тока первого контура потенциометра, для чего установить стрелку гальванометра на нуль вращением ручек «РАБОЧИЙ ТОК», «1 ▼» и «1 ▼ ▼», вначале при нажатой кнопке «▼», а затем при нажатой кнопке «▼ ▼»;
 - г) нажать кнопку $\Delta 2$;
 - д) произвести установку (контроль) рабочего тока второго контура потенциометра, для чего установить стрелку гальванометра на нуль вращением ручек «РАБОЧИЙ ТОК» «2 ▼» и «2 ▼ ▼», вначале при нажатой кнопке «▼», а затем при нажатой кнопке «▼ ▼».
4. Нажать кнопки «I» и БМ.
5. Собрать схему поверки согласно рис. 3.



Рис. 3. Схема поверки ТМ 5103

6. Включить стенд.
7. Кнопкой «Режим» перевести ТМ в ручное управление.
8. Стрелками «Λ» и «V» выбрать канал (в работе используются два канала: №1 – для поверки ТХА и №2 – для поверки ТХК).
9. Установить плавно показания прибора, соответствующие поверяемой отметке шкалы вращением ручек реостатов ИРН («mV») «▼» и «▼ ▼».
10. Измерить напряжение на выходе ИРН («mV»), для чего установить стрелку гальванометра на нуль вращением ручек декадных переключателей «X10Ω (mV)», «X1Ω (mV)», «X0,1Ω (mV)»,

«X0,01Ω (mV)» вначале при нажатой кнопке «▼», а затем при нажатой кнопке «▼▼». Значение измеренного напряжения в милливольтмах будет равно сумме показаний декад.

Такие измерения провести по всем оцифрованным отметкам шкалы ТМ (включая нулевую и конечную) при прямом и обратном ходе. Результаты измерений записать в протокол поверки по прилагаемому образцу.

Пользуясь градуировочной таблицей, перевести градусы температуры для данной градуировки милливольтметра в милливольты и сопоставить эти данные со значениями ЭДС, полученными при поверке.

11. После заполнения протокола вычислить величину абсолютной погрешности и вариации прибора по формулам:

$$\Delta_1 = E_1 - E_0; \quad \Delta_2 = E_2 - E_0; \quad \Delta E = |E_1 - E_2|,$$

где E_1, E_2 – показания образцового потенциометра при прямом и обратном ходе, мВ; E_0 – действительное значение измеряемой величины, определяемой по градуировочной таблице, мВ; Δ_1 и Δ_2 – абсолютная погрешность при прямом и обратном ходе соответственно, мВ; ΔE – вариация показаний прибора, мВ.

Относительная приведенная погрешность определяется как отношение большей абсолютной погрешности (Δ_1 или Δ_2) к диапазону шкалы милливольтметра, выраженное в процентах (%):

$$\gamma = \Delta_{\max} 100\% / (E_{\max} - E_{\min}),$$

где Δ_{\max} – максимальное значение абсолютной погрешности, мВ; E_{\max}, E_{\min} – ЭДС, соответствующая конечной и начальной отметкам шкалы милливольтметра в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), мВ.

Аналогично определяется приведенное значение вариации

$$\varepsilon = \Delta E_{\max} 100\% / (E_{\max} - E_{\min}).$$

Относительная приведенная погрешность и вариация не должны превышать основной допустимой погрешности, определяемой классом точности прибора.

12. Аналогично произвести поверку для второго канала.

6.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

Отчет о работе должен содержать протоколы поверки прибора, выполненные по следующей форме.

ПРОТОКОЛ

поверки милливольтметра (логометра, потенциометра, моста)
 типа _____ № _____ класса точности _____ градуи-
 ровки _____

с пределами измерений от _____ до _____ .

Поверка произведена по образцовому прибору _____

Допускаемая погрешность в % _____ , в мВ _____ .

Допускаемая вариация прибора в % _____ , в мВ _____ .

Результаты поверки

Поверяемая отметка		Показания образцового прибора		Погрешность поверяемого прибора в абсолютном выражении		
°С, по шкале прибора	мВ, по градуи- ровочной таблице	Прямой ход, мВ	Обрат- ный ход, мВ	Прямой ход	Обрат- ный ход	Вариа- ция

Наибольшая основная погрешность абсолютная _____ , приведенная _____ .

Наибольшая вариация абсолютная _____ , приведенная _____

Заключение: прибор годен (не годен) к эксплуатации.

6.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие существуют погрешности измерительных приборов?
2. Что такое класс точности?
3. Что такое поверка СИ?
4. Поясните принцип действия термоэлектрических преобразователей температуры (термопар).
5. Зачем необходима поправка на температуру холодных спаев?
6. В чем суть компенсационного метода измерения ЭДС?
7. Как устроен термометр многоканальный ТМ 5103 и каково его назначение?
8. Из каких измерительных преобразователей можно составить измерительную цепь для передачи результатов измерения

температуры на щит оператора? На УВМ, имеющую унифицированные входные сигналы?

9. Почему для соединения термоэлектрического преобразователя температуры со вторичным прибором необходимы специальные (компенсационные) провода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7: ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ «САПФИР»

Цель работы:

Изучить принцип действия и устройство электрического преобразователя «Сапфир».

Задачи работы:

1. Изучить принцип действия и методику поверки электрического преобразователя «Сапфир».
2. Выполнить поверку электрического преобразователя «Сапфир».
3. Написать отчет по лабораторному занятию.

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Тензорезисторные измерительные преобразователи (ИП) давления, обладающие высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками, получают все большее распространение ввиду целого ряда преимуществ: небольшие габаритные размеры и масса, высокая стабильность во времени, высокая точность, виброустойчивость, возможность эксплуатации в контакте с различными агрессивными средами, искробезопасное исполнение. Для промышленных систем автоматического контроля и систем в составе АСУ ТП на базе микропроцессорной техники, работающих со стандартными входными сигналами постоянного тока ГСП, выпускаются комплексы электрических измерительных тензорезисторных преобразователей серии «Сапфир»: обычного исполнения «Сапфир-22» и взрывозащищенного исполнения «Сапфир-22-Ex». Класс точности преобразователей 0,25 и 0,5.

Комплекс ИП серии «Сапфир» состоит из ряда модулей датчиков, позволяющих контролировать в широких пределах абсолютное и избыточное давление, разрежение, разность давлений, а также расход жидкостей и газов, уровень химически активных, вязких и кристаллизирующихся жидкостей, плотность жидких сред и другие величины, связанные с давлением. ИП «Сапфир» преобразует измеряемый параметр в унифицированный токовый сигнал 0...5; 0...20 или 4...20 мА. Допускается перестройка диапазона в отношении 1:10.

Принцип действия ИП «Сапфир» основан на использовании тензорезистивного эффекта в гетероэпитаксиальных пленках¹ кремния. Воздействие измеряемого параметра вызывает деформацию чувствительного элемента с тонкопленочными полупроводниковыми тензорезисторами. Изменение сопротивления, вызванное деформацией тензорезисторов, преобразуется с помощью электронных устройств в унифицированный токовый сигнал. ЧЭ в ИП «Сапфир» выполнен на основе структуры «кремний на сапфире» (так называемых КНС-структур) и представляет собой монокристаллическую пластинку из сапфира с выращенным на ее поверхности гетероэпитаксиальным слоем кремния, из которого методом фотолитографии сформирована тензорезистивная схема. Применением вакуумной пайки достигается прочное соединение КНС-структуры с металлическими деталями тензопреобразователя (мембраной). Слой кремния толщиной в несколько микрон прочно удерживается на подложке из сапфира в результате действия сил молекулярноатомарного сцепления, что обеспечивает жесткое крепление упругого и чувствительного элементов без промежуточных слоев. Тензорезистивные элементы разделены участками чистой поверхности сапфировой подложки, благодаря чему обеспечивается их хорошая электрическая изоляция даже при высоких температурах. Преобразователи на основе КНС-структур имеют высокую временную стабильность и быстрое действие.

Комплект преобразователя «Сапфир-22» состоит из измерительного блока с усилительным устройством и блока питания. Все ИП имеют унифицированное усилительное устройство и унифицированный блок питания (несколько типов).

Основой чувствительного элемента ИП Сапфир-22 является монокристаллическая КНС-структура, прочно соединенная с металлической мембраной. Деформация ЧЭ, пропорциональная величине измеряемого параметра, вызывает изменение сопротивления кремниевых тензорезисторов. Электронное устройство преобразует

¹ **Эпитаксия** (англ. *Epitaxy*) – технология выращивания монокристаллических тонких пленок в соответствии с кристаллической структурой подложки. Рост всех кристаллов можно назвать эпитаксиальным: каждый последующий слой имеет ту же ориентировку, что и предыдущий. Гетероэпитаксия – вариант эпитаксии, при которой один тип материала эпитаксиально осаждается на другой тип материала, т.е. материалы эпитаксиального слоя и подложки различаются.

это изменение сопротивления в унифицированный выходной сигнал постоянного тока.

При сигналах 0...5 и 0...20 мА используется четырехпроводная линия связи ИП с блоком питания (два провода для питания и два – для подключения сопротивления нагрузки); при сигнале 4...20 мА – двухпроводная линия связи, в которой сопротивление нагрузки включается последовательно в один из проводов питания.

Унифицированное усилительное электронное устройство построено на базе микросборки индивидуального применения ПСТ-4. Питание электронного устройства осуществляется постоянным напряжением 24 или 36 В от унифицированного блока питания. Устройство собрано на трех платах, размещенных внутри специального кольцевого корпуса. Корпус закрыт крышками, уплотненными резиновыми кольцами. На одну из внешних плат выведены корректоры нуля выходного сигнала и плавной настройки диапазона. С помощью переключателей осуществляются ступенчатое смещение нуля, ступенчатая настройка диапазона выходного сигнала и изменение направления смещения нуля. Схема обеспечивает температурную компенсацию и линеаризацию выходной характеристики измерительного блока. Внешняя настройка нуля, точная калибровка диапазона без снятия крышек преобразователя и наличие тестовых клемм для проверки выходного сигнала выделяют ИП «Сапфир-22» в высшую категорию по комплексной оценке.

Небольшая масса и виброустойчивость конструкции ИП Сапфир-22 позволяют устанавливать их непосредственно на технологическом оборудовании или подводящих давление трубах.

Преобразователи различных параметров давления различаются лишь конструкцией измерительного блока.

Схема ИП «Сапфир-22ДИ» для измерения избыточного давления (модели 2150, 2160, 2170) и «Сапфир-22ДИВ» для измерения избыточного и вакуумметрического давлений (модель 2350) представлена на рис. 1. Мембранный тензопреобразователь 3 размещен внутри основания 9. Внутренняя полость 4 тензопреобразователя заполнена кремнийорганической жидкостью и отделена от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной 6, приваренной по наружному контуру к основанию 9. Полость 10 сообщена с атмосферой. Измеряемое давление подается в камеру 7 фланца 5, который уплотнен прокладкой 8.

Измеряемое давление воздействует на мембрану 6 и через жидкость – на мембрану тензопреобразователя, вызывая ее прогиб и изменение сопротивления моста тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя измерительного блока передается к электронному устройству 1 по проводам через герметичный вывод 2.

ИП «Сапфир-22ДА» для измерения абсолютного давления моделей 2050 и 2060 отличаются от рассмотренной тем, что полость 10 вакуумирована и герметизирована.

Схема ИП «Сапфир-22ДД» для измерения перепада давлений (модели 2410, 2420, 2430, 2434, 2440, 2444) представлена на рис. 2. Тензопреобразователь 2 мембранно-рычажного типа размещен в основании 7 в замкнутой полости 11, заполненной кремнийорганической жидкостью, и отделен от измеряемой среды металлическими гофрированными мембранами 5 и 10. Мембраны приварены по наружному контуру к основанию 7 и соединены между собой центральным штоком 3, который связан с концом рычага тензопреобразователя 2 с помощью тяги 8.

Фланцы 6 и 9 уплотнены с помощью прокладок 1.

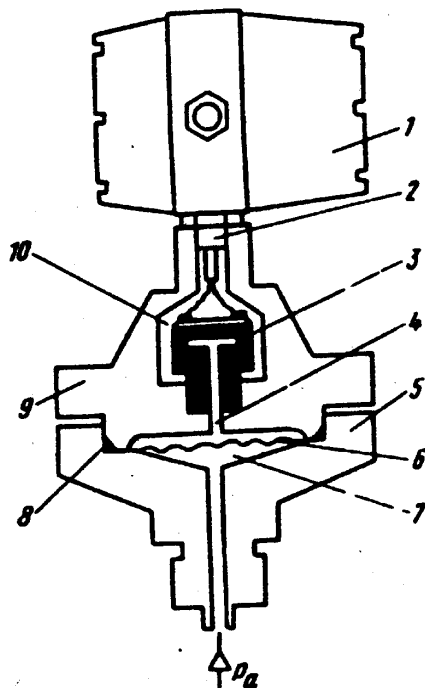


Рис. 1. Схема измерительного преобразователя давления «Сапфир-22ДИ»

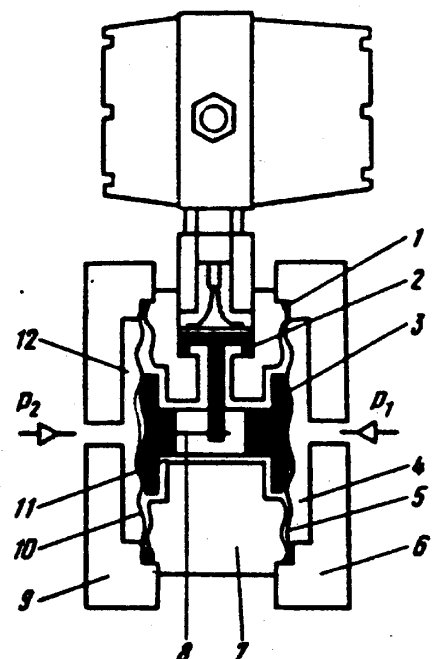


Рис. 2. Схема измерительного преобразователя разности давления «Сапфир-22ДД»

Воздействие разности измеряемых давлений (большее давление в камеру 4, меньшее – в камеру 12) вызывает прогиб мембран, изгиб мембраны тензопреобразователя и изменение сопротивления тензорезисторов. При воздействии односторонней перегрузки одна из мембран ложится на профилированную поверхность основания 7.

ИП «Сапфир-22ДИ» моделей 2110, 2120, 2130, 2140 и «Сапфир-22ДИВ» моделей 2310, 2320, 2330, 2340 отличаются от рассмотренной выше тем, что камера 12 сообщена с атмосферой. В ИП «Сапфир-22ДИВ» измеряемое давление попадает в камеру 12, а камера 4 соединена с атмосферой.

Питание ИП «Сапфир-22» обеспечивается стабилизированным напряжением постоянного тока 36В от специального блока питания 22БП-6. Номинальный ток нагрузки не более 70 мА. Блок питания имеет два варианта исполнения: 1 – одноканальный и 2 – двухканальный. БП-1 обеспечивает питанием три ИП «Сапфир-22», а БП-2 – шесть преобразователей.

Блок преобразования сигналов (блок питания) типа БПС-24П предназначен для работы с взрывозащищенными измерительными преобразователями серии «Сапфир-22-Ех». Блоки БПС-24П обеспечивают питанием напряжением 24 В одного преобразователя «Сапфир-22-Ех» (любой модели) по двухпроводной линии, несущей информацию об измеряемом параметре в виде сигнала постоянного тока 4...20 мА, и предназначены для получения линейной зависимости между формируемым выходным унифицированным токовым сигналом 0...5; 0...20 или 4...20 мА и измеряемым параметром. Основная допускаемая погрешность не более $\pm 0,15\%$.

Измерительные преобразователи давления должны подвергаться периодической поверке. Поверка производится путем установки заданного значения давления по образцовому прибору на входе преобразователя, измерения по другому образцовому прибору выходного токового сигнала и сравнения этого выходного токового сигнала с расчетным значением. При проведении поверки выполняются следующие операции: внешний осмотр, опробование герметичности, определение основной погрешности и вариации выходного сигнала.

При опробовании проверяют работоспособность преобразователя и функционирование корректора нуля. Работоспособность преобразователей проверяют, плавно изменяя измеряемое давление

от нижнего предельного значения до верхнего. При этом выходной сигнал должен плавно изменяться в диапазоне изменения выходного сигнала.

Функционирование корректора нуля проверяют, задав любое значение измеряемого давления. При вращении корректора сначала по часовой стрелке, а затем против должно наблюдаться соответствующее изменение выходного сигнала в сторону уменьшения и увеличения.

Определение герметичности преобразователей «Сапфир-22ДИ» производят при подаче в измерительную камеру избыточного давления, равного верхнему пределу измерения. Преобразователь считают герметичным, если при трехминутной выдержке под давлением в течение последних 2 мин не наблюдалось изменения выходного сигнала.

Основную погрешность преобразователей давления определяют не менее чем на пяти значениях измеряемой величины, в том числе при значениях измеряемой величины, соответствующих нижнему и верхнему предельным значениям выходного сигнала. Она определяется посредством сравнения действительных значений выходного сигнала с расчетными значениями.

Расчетные значения выходных сигналов определяют по формуле

$$I_{\text{расч}} = PI_{\text{max}}/P_{\text{max}}, \quad (1)$$

где P и P_{max} – соответственно заданное и максимальное (верхний предел измерения) значения давления; I_{max} – верхнее предельное номинальное значение выходного сигнала, мА.

7.2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Измерительный преобразователь давления «Сапфир-22ДИ».
2. Грузопоршневой манометр МТ60.
3. Лабораторный амперметр М2007, класс точности 0,2.

7.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определить по (1) расчетные значения выходного сигнала для измеряемого давления, соответствующего 20, 40, 60, 80 и 100 % верхнего предела измерений, и записать их в таблицу протокола поверки.

2. Подготовить к работе грузопоршневой манометр.
3. Собрать схему поверки согласно рис. 3.

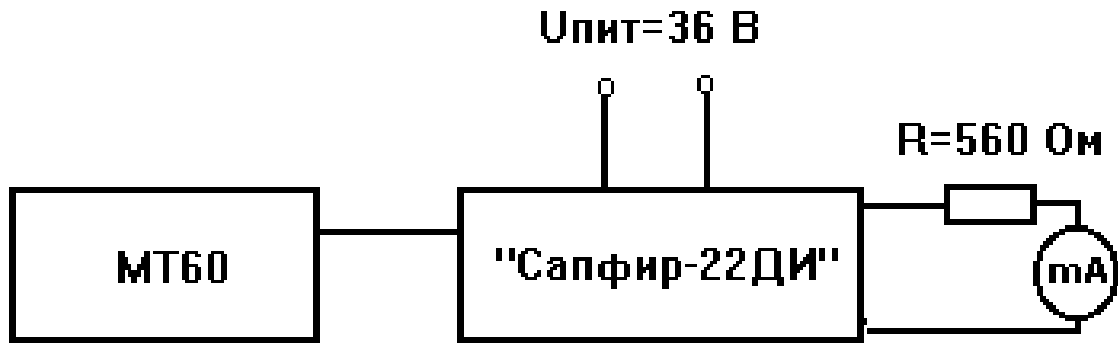


Рис. 3. Схема поверки

4. Установить на тарелке грузопоршневого манометра груз, соответствующий 20 % верхнего предела измерения преобразователя. Закрывать вентиль масляного бака.

5. Рукоятку масляного насоса медленно поворачивать вправо до тех пор, пока не всплывет тарелка с грузом и метка на боковой поверхности тарелки не совпадет со средней (белой) меткой на указателе положения. При давлении, близком к уравниваемому, рукой привести тарелку вместе с грузами во вращательное движение до полного совпадения меток.

Записать в таблицу протокола поверки показание образцового амперметра I_d .

6. Повторить измерения при значении измеряемого давления 40, 60, 80 и 100 % верхнего предела измерения.

7. После 30-секундной выдержки на верхнем пределе измерения повторить измерения на обратном ходе.

8. Определить для каждой точки измерения абсолютную погрешность и вариацию.

9. Вычислить по данным таблицы наибольшее значение основной приведенной погрешности и вариации по известным формулам. За нормирующее значение преобразователей принимается диапазон измерения выходного сигнала.

10. По результатам проведенной работы дать заключение о годности преобразователя к работе, мотивировав его результатами поверки.

7.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

Отчет о поверке должен содержать схему поверки преобразователя с кратким описанием и протокол поверки, выполненный по следующей форме.

ПРОТОКОЛ

поверки преобразователя _____
 пределы измерения _____, класс точности _____
 преобразователь поверялся с помощью приборов (тип и класс точности) _____

Заданное значение давления, P , мПа	Расчетное значение выходного сигнала $I_{рас}$, мА	Действительное значение выходного сигнала I_d , мА		Погрешность преобразователя ΔI , мА		Вариация ΔB , мА
		прямой ход	обратный ход	прямой ход	обратный ход	

Наибольшее значение основной приведенной погрешности _____,
 наибольшее значение вариации в относительном выражении _____

Вывод: прибор годен (не годен) к дальнейшей эксплуатации.

Дата поверки _____

Подпись

7.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Поясните устройство и принцип действия измерительных преобразователей «Сапфир-22ДИ» и «Сапфир-22ДД».
2. Объясните понятие «гетероэпитаксиальная пленка».
3. Что такое КНС-структура?
4. Объясните назначение элементов в схеме поверки преобразователя.
5. Каков порядок поверки преобразователя.
6. Как определяется расчетное значение выходного сигнала преобразователя?
7. Как определить основную приведенную погрешность преобразователя и вариацию?
8. Каково соотношение между абсолютным, избыточным, атмосферным и вакуумметрическим давлениями?
9. Перечислите основные единицы измерения давления. Каковы соотношения между ними?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8: АВТОМАТИЧЕСКИЕ рН-МЕТРЫ

Цель работы:

Изучить принцип действия и устройство лабораторных и промышленных типов рН-метров.

Задачи работы:

1. Изучить принцип действия и методику поверки промышленного преобразователя рН-метра П-201.
2. Выполнить поверку промышленного преобразователя рН-метра П-201.
3. Написать отчет по лабораторному занятию.

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одним из основных показателей хода технологического процесса является показатель активности водородных ионов в растворах – рН, характеризующий кислотные и щелочные свойства раствора. Для измерения рН предназначены рН-метры.

Широкое распространение рН-метрии обусловлено высокой точностью метода измерения, быстротой анализа, простотой обращения с прибором, а также тем фактом, что почти все растворы содержат водородные ионы.

Как известно, появление водородных ионов в растворах вызвано диссоциацией части молекул воды на катионы водорода и анионы гидроксила: $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow [\text{H}^+] + [\text{OH}^-]$. По закону действия масс произведение концентрации ионов водорода и гидроксида (при температуре 22°C) постоянно и равно 10^{-14} . При диссоциации молекул воды образуется равное количество ионов водорода и гидроксила, что позволяет для нейтральных растворов, в частности для воды, записать: $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$. Если при растворении в нейтральном растворе какого-либо вещества температура не меняется, величина 10^{-14} остается постоянной, но нарушается равновесие и в растворе увеличивается либо количество диссоциированных ионов водорода $[\text{H}^+]$ за счет уменьшения $[\text{OH}^-]$, либо число ионов гидроксила за счет ионов водорода. В первом случае, когда $[\text{H}^+] < 10^{-7}$, раствор приобретает кислотные свойства, во-втором, когда $[\text{H}^+] > 10^{-7}$, раствор обладает щелочными свойствами.

Для более удобного выражения концентрации ионов водорода введено понятие рН – логарифм активности ионов водорода, взятый со знаком минус: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]f_{\text{H}^+}$, где f_{H^+} – коэффициент активности ионов водорода, который, как правило, имеет значение меньше единицы.

С изменением температуры изменяется константа диссоциации воды и соответственно меняется рН раствора, например, для нейтрального раствора при $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ рН равен 7,97; при $t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ рН равен 7, а при $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ рН равен 6,12.

Потенциометрический метод анализа основан на измерении окислительно-восстановительных (электродных) потенциалов, функционально связанных с концентрацией (активностью) ионов определяемого вещества, и описывается в общем виде уравнением Нернста:

$$E = E_0 \pm \frac{RT}{nF} \cdot \lg a_m,$$

где E_0 – нормальный (стандартный) потенциал электрода, определяемый свойствами самого электрода и не зависящий от концентрации ионов в растворе; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; n – валентность; F – число Фарадея; a_m – активная концентрация ионов в растворе. Знак перед вторым членом правой части уравнения соответствует знаку заряда иона.

Из уравнения Нернста следует, что при погружении металлического электрода в раствор его же соли на границе «металл-раствор» возникает скачок потенциала, пропорциональный активной концентрации иона этого металла в растворе. Появление этого скачка объясняется тем, что из металла в раствор переходят положительные ионы, в результате чего на поверхности электрода накапливаются отрицательные заряды. Через некоторое время между «металлом-раствором» устанавливается определенная разность потенциалов, соответствующая состоянию динамического равновесия, при котором на электроде одновременно с одинаковой скоростью идут процессы перехода ионов металла в раствор и из раствора в металл.

Для измерения активности ионов водорода потенциометрическим методом используется так называемый водородный электрод в виде платиновой пластинки, покрытый платиновой чернью, к которой снизу подводится газообразный водород. Потенциал водородного электрода изменяется на 58 мВ при изменении рН анали-

зируемого раствора на единицу. При производственных измерениях водородные электроды не применяют, так как они неудобны в эксплуатации.

8.1.1. Измерительная ячейка рН-метра

В связи с тем, что электродный потенциал непосредственно измерить нельзя, в потенциометрическом методе применяют гальваническую ячейку, в которой один электрод является измерительным, а другой – электродом сравнения (или вспомогательным), потенциал которого не зависит от концентрации исследуемых ионов раствора. Измерительный электрод помещается в анализируемую жидкую среду, на нем создается скачок потенциала E_x , определяемый концентрацией ионов в этой среде. Потенциал сравнительного электрода должен всегда оставаться постоянным независимо от изменения состава среды.

В качестве измерительных электродов применяются стеклянные, индикаторная часть которых изготовлена из специальных сортов стекла, обладающих водородной функцией. В качестве сравнительного или вспомогательного электрода обычно используются каломельный или хлорсеребряные электроды. Они относятся к электродам так называемого второго рода, которые состоят из металла, его труднорастворимой соли и легкорастворимой соли с тем же анионом, что и у труднорастворимой соли.

Общий вид ячейки со стеклянным измерительным электродом представлен на рис. 1, где 1 – стеклянный индикаторный электрод, 2 – каломельный сравнительный электрод.

ЭДС электродного датчика рН-метра складывается из ряда потенциалов:

$$E_{\text{яч}} = E_K + E_{\text{вн}} + E_x + E_{\text{ср}} + E_{\text{д}},$$

где E_K – разность потенциалов между контактным вспомогательным электродом и раствором, заполняющим стеклянный электрод; $E_{\text{вн}}$ – разность потенциалов между раствором и внутренней поверхностью измерительной мембраны; E_x – разность потенциалов между наружной поверхностью стеклянной мембраны и контролируемой средой (функцией рН); $E_{\text{ср}}$ – разность потенциалов на границе ртуть (Hg) – каломель (Hg_2Cl_2); $E_{\text{д}}$ – диффузионный потенциал на границе контакта двух сред – KCl и контролируемой средой. Хло-

рид калия KCl выполняет роль электролитического ключа, соединяющего анализируемый раствор с электродом.

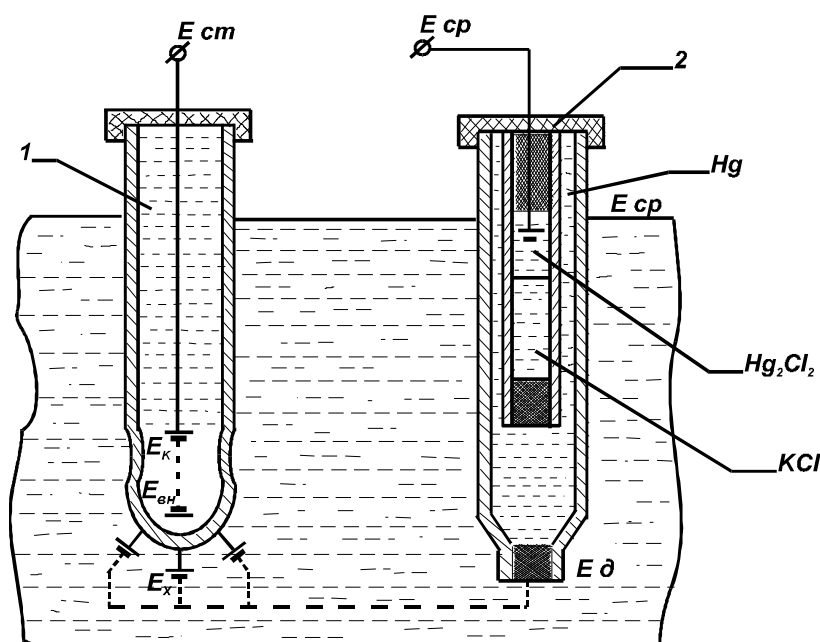


Рис. 1. Электрическая цепь измерительной ячейки рН-метра

При этом величины E_k , $E_{вн}$, E_v постоянны и от состава анализируемой среды не зависят. Диффузионный потенциал E_d очень мал и им можно пренебречь. Таким образом, общая ЭДС определяется только активностью ионов водорода: $E_{яч} = E_x + \Sigma E$.

Таким образом, $E_{яч} = f(pH)$, то есть $E_{яч}$ является линейной функцией рН, что и используется при электрическом измерении величины рН.

Зависимость ЭДС электродной ячейки $E_{яч}$ от рН определяется электродными свойствами стекла и характеризуется коэффициентом крутизны S характеристики электродной системы $S = \Delta E / \Delta pH$. Изменение температуры анализируемого раствора влияет на ЭДС электродной системы, изменяя крутизну номинальной статической характеристики (НСХ) измерительного электрода. Если выразить эту зависимость графически (рис. 2), то получится пучок пересекающихся прямых. Координаты точки пересечения прямых называются координатами изопотенциальной точки (E_H, pH_H) и являются важнейшими характеристиками электродной системы, которыми руководствуются при расчете схемы температурной компенсации рН-метра. Температурная компенсация изменения ЭДС электродной системы, как правило, осуществляется автоматически (с помощью ТС, включенного в схему промышленного преобразователя рН-метра).

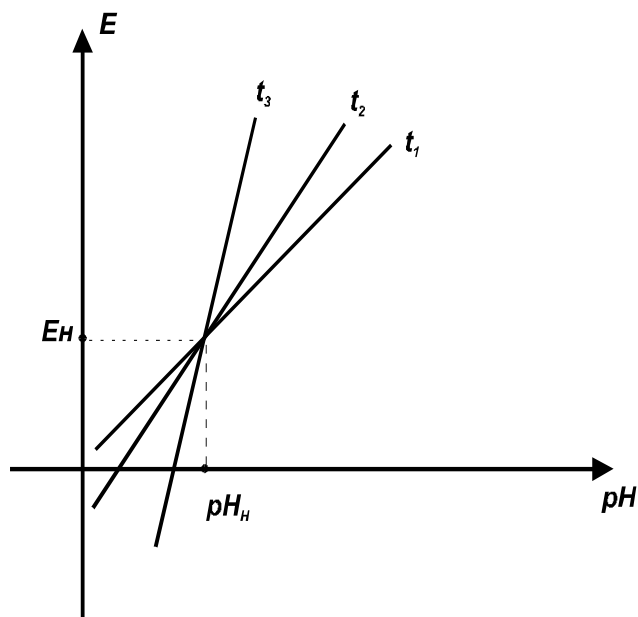


Рис. 2. НСХ
измерительного электрода

Измерительная ячейка со стеклянным электродом может быть представлена в виде эквивалентной схемы (рис. 3). Сопротивление $R_{яч}$ весьма велико вследствие высокого сопротивления мембраны стеклянного электрода $R_{ст}$ ($R_{яч} \geq 500 \text{ МОм}$). Поэтому протекание незначительных токов по внутреннему сопротивлению ячейки вызовет большую погрешность измерения:

$$U_{ВХ} = E_{яч} - I_{яч}R_{яч}; U_{ВХ} = E_{яч}[R_{ВХ}/(R_{яч} + R_{ВХ})].$$

Из последнего равенства видно, что основное требование измерения $U_{ВХ} = E_{яч}$ может быть выполнено, если $R_{ВХ} \gg R_{яч}$, т.е. $R_{ВХ} \gg R_{ст}$.

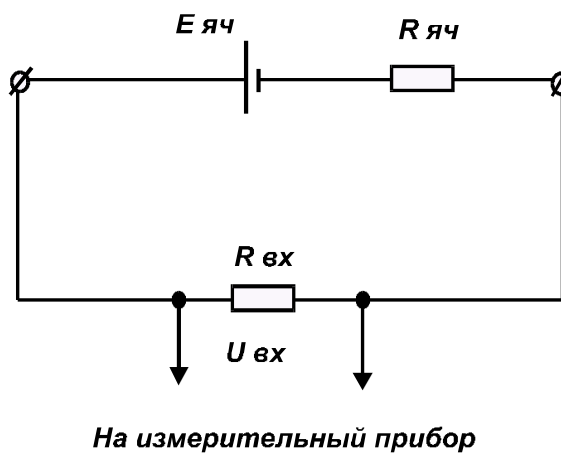


Рис. 3. Эквивалентная схема измерительной ячейки

8.1.2. Промышленные преобразователи рН-метров ГСП

Комплект автоматического промышленного рН-метра состоит из датчика погружного (типа ДПг-4М) или магистрального (типа ДМ-5М), измерительного высокоомного преобразователя и вторичного прибора ГСП общепромышленного назначения. Задачей измерительного прибора, входящего в комплект рН-метра, является измерение ЭДС электродной системы, которая при неизменных температурных условиях является функцией рН.

Точное измерение ЭДС измерительной ячейки рН-метра, представляющей собой маломощный источник, связано со значительными трудностями. Во-первых, через измерительную ячейку нельзя пропускать ток, плотность которого превышает 10^{-7} А/см², так как может возникнуть явление поляризации электродов, в результате чего электроды выходят из строя. Второе существенное затруднение заключается в том, что при непосредственном измерении ЭДС ячейки рН-метра с потреблением тока, например милливольтметром, создается электрическая цепь, по которой протекает ток, определяющийся суммой внутреннего сопротивления измерительного электрода (около 500...1000 МОм) и сопротивления измерительного прибора. В этом случае необходимо соблюдать ряд условий: измерительный ток должен быть меньше тока поляризации электродов; внутреннее сопротивление прибора должно быть не менее чем в 100 раз выше сопротивления стеклянного электрода, что, однако, вступает в противоречие с требованием высокой чувствительности прибора. В связи с этим преобразователи с непосредственным измерением ЭДС практически не применяются.

Единственным методом, удовлетворяющим всем требованиям измерения ЭДС ячейки рН-метра, является компенсационный (потенциометрический), или нулевой метод измерения, основным преимуществом которого является отсутствие тока в момент отсчета показаний. Однако не следует считать, что при компенсационном методе электрод не нагружается совсем, и поэтому явление поляризации электродов исключено. Здесь протекание тока (в пределах 10^{-12} А) объясняется тем, что в процессе измерения всегда имеется небаланс, а в момент измерения компенсация достигается только с той точностью, с какой позволяет чувствительность нуля индикатора.

В настоящее время для измерения ЭДС электродной системы со стеклянным электродом применяют только электронные нуль - индикаторы (измерительные преобразователи) со статической компенсацией. Упрощенная блок-схема, поясняющая принцип действия такого преобразователя, приведена на рис. 4. Преобразователь представляет собой усилитель постоянного тока, охваченный глубокой отрицательной связью ОС по выходному току, чем и обеспечивается большое входное сопротивление. Усилитель построен по схеме преобразования постоянного напряжения в переменное с последующей демодуляцией.

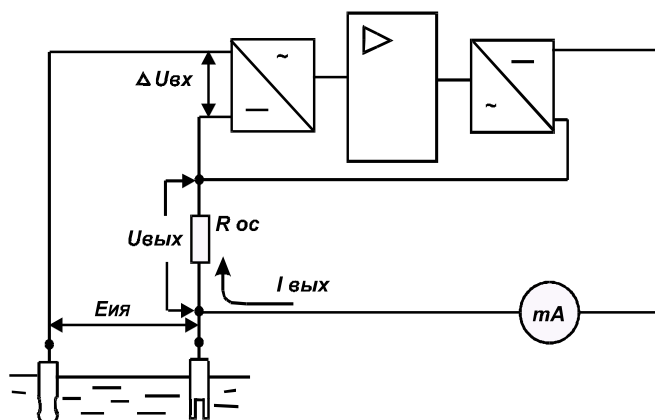


Рис. 4. Структурная схема метода измерения ЭДС ячейки рН-метра

Измеряемая ЭДС $E_{ИЯ}$ сравнивается с напряжением $U_{ВЫХ}$, образуемым от протекания выходного тока усилителя $I_{ВЫХ}$ по резистору $R_{ОС}$. На вход усилителя поступает разность этих напряжений $U_{ВХ} = E_{ИЯ} - U_{ВЫХ}$. Если коэффициент усиления $k = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$, то $E_{ИЯ} = U_{ВЫХ}/(1 + 1/k)$. При достаточно большом значении k ($k \approx 500$) $E_{ИЯ} \approx U_{ВЫХ} \approx I_{ВЫХ} R_{ОС}$, т.е. сила выходного тока практически пропорциональна входному сигналу от измерительной ячейки рН – метра.

Применение статической компенсации позволяет во много раз уменьшить силу тока, потребляемого от измерительной ячейки в процессе измерения.

Данный принцип реализован практически во всех промышленных преобразователях рН-метров: рН-201, П201, П202, П205 (полупроводниковая элементная база) и в П215 (с использованием стандартных микросхем).

8.1.3. Описание преобразователя П201

Промышленные преобразователи типа П201 предназначены для измерения активности ионов водорода (величины рН) растворов и пульп в системах автоматического контроля и регулирования технологических процессов.

Преобразователи рассчитаны для работы в комплекте с любыми серийно выпускаемыми чувствительными элементами рН, как например, ДПг-4М; ДМ-5М и др.

Преобразователь имеет выходы по напряжению и току для подключения вторичных приборов с соответствующими входными сигналами.

Основные технические характеристики:

1) пределы измерения	от -1 до 14 рН
2) предел допускаемой основной приведенной погрешности:	
а) по выходным сигналам постоянного тока и напряжению постоянного тока	±1 %
б) по показывающему прибору	±2 %
3) сопротивление измерительного стеклянного электрода	500±500 МОм
4) сопротивление вспомогательного электрода	10±10 кОм
5) время установления показаний	не более 10 с
6) выходной ток	0...5 мА
7) выходное напряжение	от 0 до 10÷100мВ

Преобразователь предназначен для монтажа в непосредственной близости от промышленных агрегатов. Преобразователь может состоять из показывающего узкопрофильного прибора и собственно преобразователя, устанавливаемых на одной общей панели или раздельно, или только одного преобразователя. Внешний вид прибора показан на рис. 5.

Кожух 1 выполнен из листовой стали, крышка 2 литая, из алюминиевого сплава. На лицевой стороне крышки имеются надпись с индексом прибора, колпачок 3 и резьбовая заглушка 4.

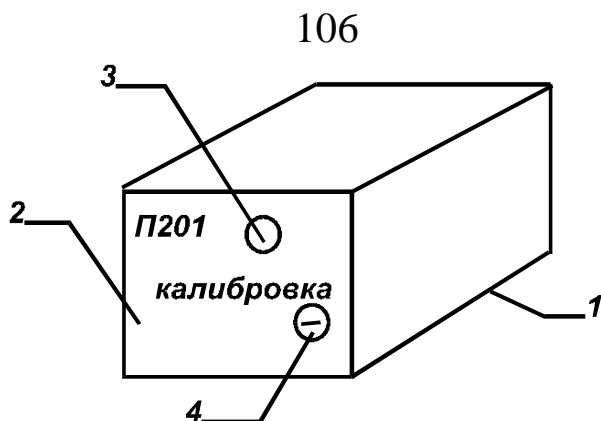


Рис. 5. Внешний вид преобразователя П201

Внутри кожуха устанавливается каркас, служащий основанием для установки всех блоков и элементов прибора. На переднюю панель преобразователя, расположенную под крышкой, выведены оси переменных резисторов, предназначенных для изменения пределов измерения преобразователей. Колодка с зажимами для внешних электрических соединений расположена в закрытом отсеке, доступ к ней предусмотрен со стороны задней стенки корпуса. Провода вводятся в отсек через четыре сальника в нижней стенке прибора (рис. 6).

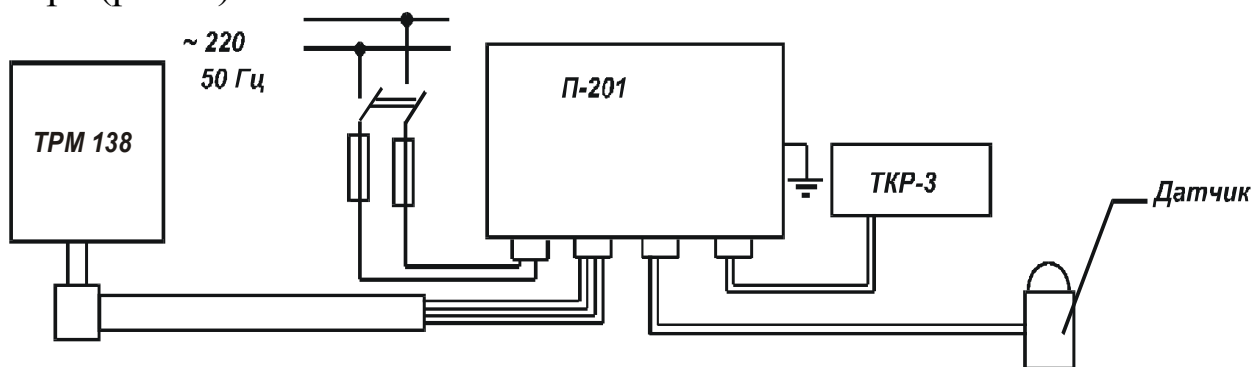


Рис. 6. Схема внешних электрических соединений преобразователя П-201: ТРМ – измеритель-регулятор универсальный; ТКР – блок резисторов температурной компенсации

8.1.4. Поверка и градуировка автоматического рН-метра

Текущая поверка автоматического рН-метра заключается в сравнении его показаний с показаниями контрольного прибора. При значительном расхождении показания поверяемого прибора корректируются с помощью компенсатора или путем изменения градуировки преобразователя с помощью ручек настройки. Кроме

того, необходимо периодически проводить более детальную проверку датчика и преобразователя.

Проверка датчика включает в себя следующие операции:

1) тщательный наружный осмотр, в особенности тех его частей, которые соприкасаются с измеряемой средой;

2) проверка электрических цепей, в особенности сопротивления изоляции цепей стеклянного и сравнительного электродов относительно корпуса, которое должно быть не менее 10^{12} Ом и $2 \cdot 10^8$ Ом соответственно;

3) проверка характеристики электродной системы по буферным растворам с известной величиной рН с помощью контрольного лабораторного рН-метра.

Проверка преобразователя включает в себя:

1) определение основной погрешности измерений преобразователя и корректировку его градуировки;

2) определение дополнительных погрешностей измерений преобразователя от изменения сопротивления стеклянного электрода $R_{СТ}$, изменения сопротивления сравнительного электрода $R_{СР}$ и изменение потенциала контролируемого раствора E_x .

Для градуировки шкалы рН-метров необходимо иметь имитатор электродной системы И-01 или И-02.

Имитатор электродной системы позволяет проверять работоспособность датчика рН – метров; влияние изменения сопротивления электродов и напряжения между раствором и корпусом агрегата на показания прибора; помехозащищенность рН-метров.

С помощью имитатора можно воспроизвести следующие параметры электродной системы:

а) напряжение, эквивалентное ЭДС электродной системы, в пределах от 0 до ± 1000 мВ;

б) сопротивление, эквивалентное сопротивлению стеклянного электрода: 0; 500 и 1000 МОм;

в) сопротивление, эквивалентное сопротивлению вспомогательного электрода: 10 и 20 кОм;

г) напряжение, эквивалентное ЭДС «земля – раствор»: 0 и $\pm 1,5$ В.

Имитатор является электрическим эквивалентом электродной системы (рис. 7) и конструктивно оформлен в виде переносного устройства, размещенного в стальном корпусе со съемной крышкой.

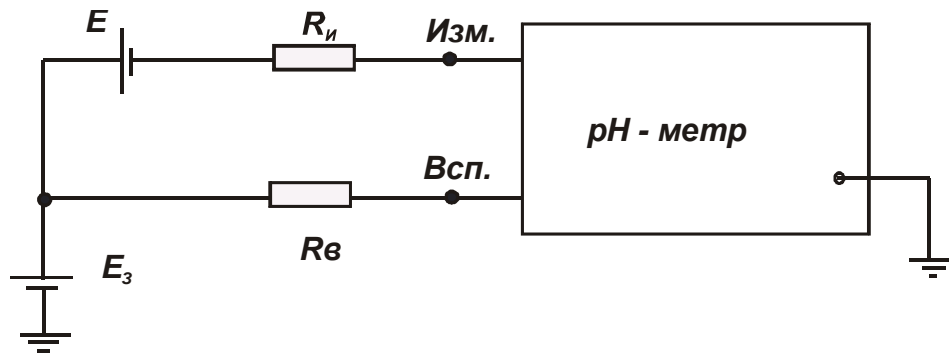


Рис. 7. Эквивалентная схема имитатора электродной системы:
 $R_{И}$ – сопротивление измерительного стеклянного электрода;
 $R_{В}$ – сопротивление вспомогательного электрода; E – суммарная ЭДС электродной системы; $E_з$ – ЭДС «земля – раствор»

На лицевой панели имитатора имеются клеммы для подключения его к поверяемому рН-метру с помощью кабеля, который имеется в комплекте. Там же размещены ручки установки требуемой величины выходного напряжения, сопротивления электродов, потенциала контролируемого раствора и т.д.

8.2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Промышленный преобразователь П-201.
2. Имитатор электродной системы И-02.
3. Измеритель-регулятор универсальный многоканальный ТРМ 138.

8.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать установку для поверки преобразователя П-201 с помощью имитатора И-02 в соответствии со схемой рис. 8, соединив выход имитатора со входом «Изм» и «Всп» преобразователя посредством коаксиального кабеля.

2. Подготовить к работе имитатор. Для этого нажать на переключателях имитатора: « $R_{И}$ » – кнопку 500; « $E_{ЗР}$ », « $R_{В}$ » – кнопки «00» для $E_{ЗР}$ и «010» для $R_{В}$; «ПИТАНИЕ» – кнопка « $E_{ВНУТР}$ » и «Вкл».

3. Подать напряжение питания на стенд.

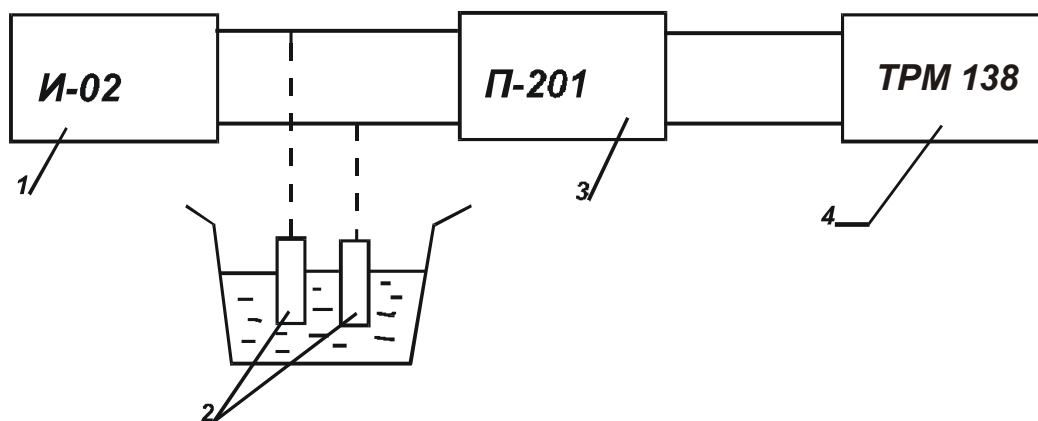


Рис. 8. Схема поверки: 1 – имитатор электродной системы И-02; 2 – электродная система; 3 – высокоомный преобразователь П-201; 4 – измеритель-регулятор многоканальный ТРМ 138

4. Стрелками \wedge \vee на ТРМ 138 выбрать канал № 5, по которому осуществляется отсчет ЭДС.

5. Произвести поверку преобразователя.

Для этого:

5.1. Набрать на кнопках переключателя «Е, mV» имитатора значение ЭДС, соответствующее величине рН оцифрованной отметки шкалы. Переключатель «Е_х, mV» устанавливается в положении «+» или «-» в зависимости от знака ЭДС в градуировочной таблице.

5.2. Произвести отсчет показаний по имитатору И-02.

Определить основную погрешность измерений при $R_B = 10 \text{ кОм}$; $E_3 = 0$. Основная погрешность проверяется на всех оцифрованных отметках шкалы при прямом и обратном ходе и рассчитывается по формуле $\gamma = [(E - E_0) / (E_K - E_H)] 100\%$, где E_0 – табличное (действительное значение ЭДС электродной системы, соответствующее данной оцифрованной отметке шкалы, мВ; E – фактическое значение ЭДС, мВ; E_K , E_H – значения ЭДС, соответствующие конечной и начальной отметкам шкалы.

6. Результаты поверки представить в отчете.

8.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

Отчет о работе должен содержать схему измерительной ячейки рН-метра, схему поверки, протокол поверки, выполненный по следующей форме:

ПРОТОКОЛ

поверки преобразователя промышленного типа _____
 класса точности по выходным сигналам _____
 с пределами измерения от _____ до _____.
 Поверка произведена по образцовому прибору _____.
 Допускаемая погрешность в % _____, в мВ _____.

Результаты поверки

Значение рН	Эквивалент, мВ	Фактическое значение ЭДС, мВ		Абсолютная погрешность поверяемого прибора, мВ		Приведенная погрешность поверяемого прибора, %	
		прямой ход	обратный ход	прямой ход	обратный ход	прямой ход	обратный ход

Наибольшая основная погрешность абсолютная _____
 приведенная _____.

Заключение: прибор годен (не годен) к эксплуатации.

8.5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Объясните физико-химические основы потенциометрического метода измерения.
2. Поясните принцип действия измерительного и сравнительного электродов.
3. Из чего состоит электрическая цепь измерительной ячейки рН-метра?
4. Поясните значение наличия изопотенциальной точки.
5. Почему для измерения ЭДС ячейки рН-метра нельзя применять вторичные приборы типов КСП, ДИСК-250 или аналогичные?
6. Поясните принцип работы измерительных преобразователей рН-метров со статической компенсацией.
7. Каков порядок поверки измерительных преобразователей рН-метров?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9: ПОВЕРКА ПРУЖИННЫХ МАНОМЕТРОВ

Цель работы:

Изучить принцип действия и устройство деформационных манометров.

Задачи работы:

1. Изучить принцип действия и методику поверки манометров с трубчатой пружиной.
2. Выполнить поверку манометра с трубчатой пружиной.
3. Написать отчет по лабораторному занятию.

9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Давление является одним из важнейших физических параметров, и его измерение необходимо как в расчетных целях, например для определения расхода, количества и тепловой энергии среды, так и в технологических целях, например для контроля и прогнозирования безопасных и эффективных гидравлических режимов напорных трубопроводов, используемых на предприятии. Рассмотрим основные понятия, связанные с давлением и его измерением.

Давлением P называют отношение $P=F/S$ абсолютной величины нормального, то есть действующего перпендикулярно к поверхности тела, вектора силы F к площади S этой поверхности. В отличие от силы, величина которой может зависеть от размеров поверхности ее приложения, давление позволяет при рассмотрении взаимодействия физических тел исключить фактор площади, поскольку оно является удельной, то есть отнесенной к единице площади, силой.

На практике давления газообразных и жидких сред могут измеряться относительно двух различных уровней (рис. 1):

- 1) уровня абсолютного вакуума, или абсолютного нуля давления – идеализированного состояния среды в замкнутом пространстве, из которого удалены все молекулы и атомы вещества среды,
- 2) уровня атмосферного, или барометрического, давления ДБ.

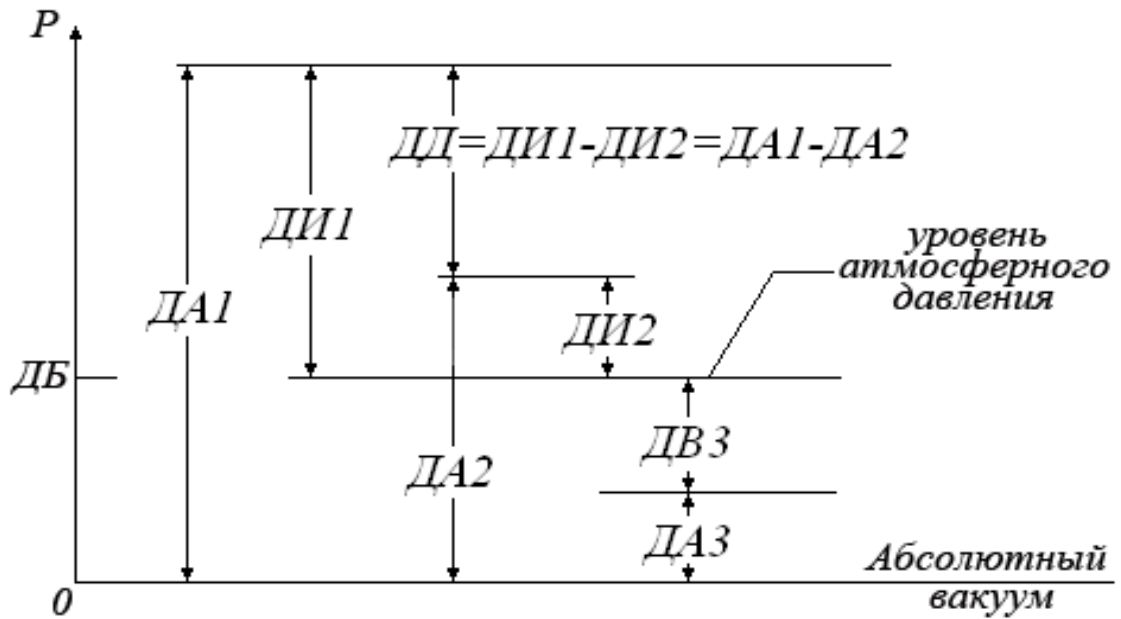


Рис. 1. Виды измеряемых давлений: P – давление; $ДБ$ – давление барометрическое; $ДА$ – давление абсолютное; $ДИ$ – давление избыточное; $ДВ$ – давление вакуумметрическое; $ДД$ – давление дифференциальное

Давление, измеряемое относительно вакуума, называют давлением *абсолютным* ($ДА$). Но все происходящие в природе процессы находятся под действием *атмосферного* или барометрического давления ($ДБ$), то есть абсолютного давления земной атмосферы. Оно зависит от конкретных условий измерения: температуры воздуха и высоты над уровнем моря. Поэтому средства измерения давления, если они не изолированы от атмосферного давления, фиксируют *избыточное* давление ($ДИ$), которое больше атмосферного, но измеряется относительно атмосферного. Давление меньше атмосферного, измеряемое относительно атмосферного, называют давлением разрежения или *вакуумметрическим* ($ДВ$). Его численное значение указывается со знаком минус, а максимальное значение равно 0,1 МПа. Незначительное избыточное давление до 40 кПа называется *напором*, а незначительное вакуумметрическое давление (до –40 кПа) – *разрежением*. Глубокое разрежение – *вакуум*. Очевидно, что $ДА = ДБ + ДИ$ или $ДА = ДБ - ДВ$. При измерении разности давлений сред в двух различных процессах или двух точках одного процесса, причем таких, что ни одно из давлений не является атмосферным, такую разность называют *дифференциальным давлением* ($ДД$).

В Международной системе единиц (СИ), принятой в 1960 году, единицей силы является н (ньютон), а единицей площади – м². Отсюда определяется единица давления *паскаль* Па = 1 Н/м² и ее производные, например, *килопаскаль* (1 кПа = 10³ Па), *мегапаскаль* (1 МПа = 10³ кПа = 10⁶ Па). Наряду с системой СИ в области измерения давления продолжают использоваться единицы и других, более ранних систем, а также внесистемные единицы.

В технической системе единиц МКГСС (метр, килограмм-сила, секунда) сила измеряется в килограммах силы (1 кгс ≈ 9,8 Н). Единицы давления в МКГСС – кгс/м² и кгс/см²; единица кгс/см² получила название *технической атмосферы* (ат). В случае измерения в единицах технической атмосферы избыточного давления используется обозначение «ати».

Кроме указанных единиц, на практике используется такая внесистемная единица, как *физическая, или нормальная атмосфера* (атм), которая эквивалентна уравнивающему столбу 760 мм рт. ст.

В англоязычных странах широко распространена единица давления *пси* ($psi = lbf/in^2$) – фунт силы на квадратный дюйм (1 фунт = 0,4536 кг). При измерении абсолютного и избыточного давления используются соответственно обозначения *psia* (*absolute* – абсолютный) и *psig* (*gage* – избыточный).

Для приблизительных оценок и расчетов давления с относительной погрешностью не более 5 % полезно использовать следующие соотношения:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 1 \text{ атм} = 10^5 \text{ Па} = 100 \text{ кПа} = 0,1 \text{ МПа}.$$

На практике из-за использования разнородного гидравлического и измерительного оборудования разных изготовителей и стран, причем нередко давнего года выпуска, потребность перевода одних единиц давления в другие возникает постоянно. Приведенные соотношения позволят быстро справиться с такими задачами.

Для прямого измерения давления жидкой или газообразной среды с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора применяются *манометры*. Если отображение значения давления на самом первичном приборе не производится, но он позволяет получать и дистанционно передавать соответствующий измеряемому параметру сигнал, то такой прибор называют *измерительным пре-*

образователем давления (ИПД), или датчиком давления. Возможно объединение этих двух свойств в одном приборе (манометр-датчик).

По принципу действия манометры можно подразделить на *жидкостные* (измеряемое давление уравнивается гидростатически столбом жидкости – воды, ртути – соответствующей высоты), *деформационные* (давление определяется по величине деформации и перемещения упругого чувствительного элемента УЧЭ – мембраны, трубчатой пружины, сильфона), *грузопоршневые* (измеряемое или воспроизводимое давление гидростатически уравнивается через жидкую или газообразную среду прибора давлением веса поршня с грузоприемным устройством и комплектом образцовых гирь), *электрические* (давление определяется на основании зависимости электрических параметров: сопротивления, емкости, заряда, частоты – чувствительного элемента ЧЭ от измеряемого давления) и другие (тепловые, ионизационные, термопарные и т.п.).

Деформационные манометры и дифманометры составляют достаточно распространенную группу средств измерения давления по номенклатуре и количеству. Предназначены они для измерения вакуумметрических и избыточных давлений жидкостей и газов, не агрессивных по отношению к материалу упругого ЧЭ.

По виду упругого чувствительного элемента (УЧЭ) деформационные приборы подразделяются на три большие группы: трубчато-пружинные, мембранные и сильфонные, в которых упругими чувствительными элементами являются соответственно трубчатые пружины, мембраны и сильфоны (рис. 2). При этом УЧЭ преобразуют давление в перемещение $\Delta l = pF_{эф}$, где $F_{эф}$ – эффективная площадь УЧЭ. Значение эффективной площади зависит от размеров УЧЭ и характера его деформации под действием нагрузки. Для УЧЭ характерно возникновение систематической погрешности, которая проявляется в виде петли гистерезиса, объясняемой неоднозначностью хода статической характеристики при увеличении и уменьшении нагрузки. Гистерезис существенно зависит от химического состава, структуры и упругих свойств материала УЧЭ. Для предотвращения пластических последствий (когда часть деформации УЧЭ остается при его полной разгрузке) и уменьшения погрешности от гистерезиса рабочие давления должны быть значительно меньше пределов упругости УЧЭ.

Трубчатая пружина – трубка эллиптического или плоско-овального поперечного сечения, изогнутая по дуге окружности так, чтобы большая ось сечения была перпендикулярна плоскости изгиба. Угол закручивания составляет 270° или 180° . Один конец трубки закреплен неподвижно в держателе манометра или на специальной кронштейне, через входной штуцер которого в трубку подается избыточное давление. Другой – свободный – конец трубки запаян. Под влиянием избыточного давления (точнее, разности абсолютно-го внутреннего и наружного атмосферного давлений) трубка раскручивается.

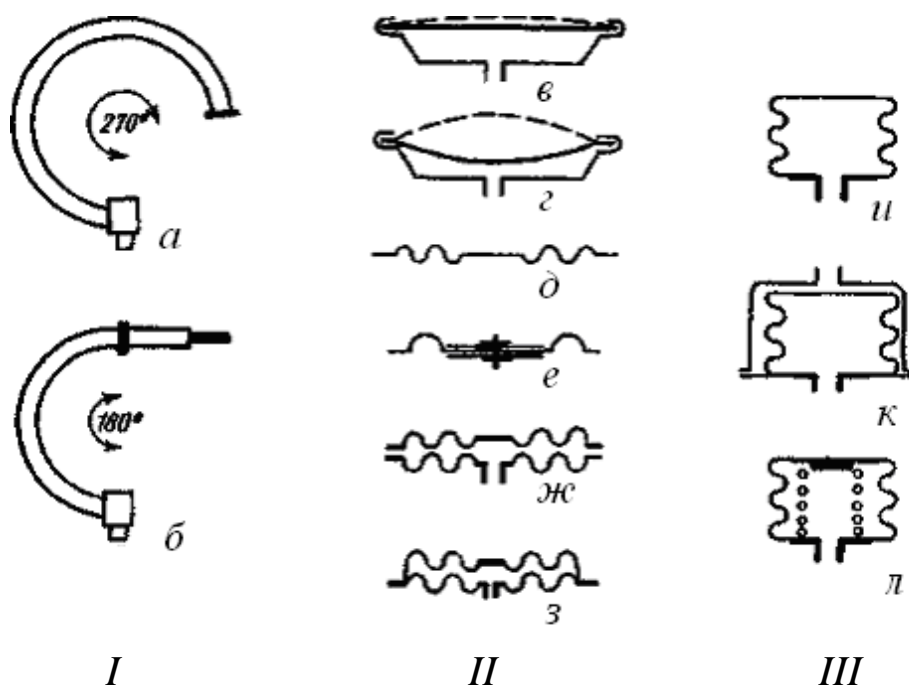


Рис. 2. Схемы УЧЭ деформационных преобразователей давления: I (а, б) – трубчатые пружины; II (в – з) – мембраны; III (и – л) – сильфоны

Максимальное перемещение трубчатой пружины при ее раскручивании – 4...6 мм. Закономерности, определяющие перемещение конца трубки, очень сложны. Упрощенно можно пояснить таким образом: любая трубка некруглого сечения при повышении давления в ней стремится под воздействием равномерных нормальных напряжений в стенках трубки принять круглую форму.

Трубчатая пружина с углом закручивания 270° (рис. 2, а) применяется в основном в показывающих манометрах различных типов, а с углом закручивания 180° (рис. 2, б) – в основном в прибо-

рах с передающими преобразователями. В регистрирующих манометрах с целью получения достаточно больших перемещений и усилий применяется винтовая трубчатая пружина (диаметром 30 мм). Трубчатая пружина тем чувствительнее, чем больше радиус ее закручивания и чем меньше толщина стенок трубок.

Мембрана в качестве упругого чувствительного элемента применяется несколько реже, чем трубчатые пружины. Мембрана представляет собой гибкую, закрепленную по периметру перегородку (обычно в виде круглого диска), замыкающую пространство. Таким образом, по одну сторону мембраны действует измеряемое давление, а по другую — атмосферное. Линейное перемещение центра мембраны под влиянием этой разности давлений является мерой измеряемого избыточного давления. Простейшей разновидностью мембранного УЧЭ является плоская (пластинчатая) мембрана (2, в). Однако плоская мембрана имеет значительную нелинейность статической характеристики, поэтому при ее применении (в основном в преобразователях специальной конструкции: емкостных, с тензопреобразователями и т.д.) используется незначительная часть рабочего хода. Из плоских мембран необходимо отметить выпуклые («хлопающие») мембраны (рис. 2, з), которые используются в реле давления для сигнализации отклонения давления от заданного значения. При увеличении давления происходит потеря устойчивости мембраны, и она изменяет свой прогиб скачком, при уменьшении давления — также скачком возвращается в свое первоначальное положение.

Для увеличения перемещения мембран их обычно снабжают кольцевыми гофрами (рис. 2, д) различной геометрии, причем перемещение не зависит от формы гофр, а определяется их количеством, глубиной и материалом мембраны. В зависимости от вида материала различают жесткие металлические мембраны и «вялые» мембраны, изготовленные из резины или прорезиненной бензомаслостойкой ткани. Как правило, «вялые» мембраны выполняются с одним отформованным гофром и жестким металлическим центром (рис. 2, е).

Эффективная площадь мембран вычисляется по формуле $F_{эф} = \pi(R^2 + Rr_0 + r_0^2)$, где r_0 — радиус жесткого центра; R — рабочий радиус мембраны. Одиночные мембраны в показывающих манометрах практически не применяются. Жесткость «вялых» мем-

бран недостаточна, поэтому их снабжают винтовой или плоской пружинами.

Наибольшее распространение получили мембранные коробки «обычного» (2, ж) и «грибкового» (рис. 2, з) типов. Первые применяются в основном для измерения незначительных давлений и разрежений, вторые – в дифманометрах как составная часть мембранного блока. Мембранный блок представляет собой две и более мембранных коробок «грибкового» типа, соединенных между собой.

Сильфоны представляют собой цилиндрическую тонкостенную гофрированную трубку (рис. 2, и), чаще с доньшком с одного конца. При действии внешнего или внутреннего давления длина сильфона изменяется пропорционально приложенной силе. Сильфоны при работе на сжатие (рис. 2, к) выдерживают большее давление, чем при воздействии давления изнутри.

Эффективная площадь сильфона обычно определяется по формуле $F_{эф} = \pi[(R_H + R_B)/2]^2$, где R_H и R_B – соответственно наружный и внутренний радиусы сильфона. Величина начальной эффективной площади существенно зависит от параметров гофрировки. Как правило, используется начальный, незначительный линейный участок статической характеристики, так как экспериментально доказано, что эффективная площадь сильфона изменяется с изменением давления.

В ряде случаев применяются сильфоны с винтовой пружиной (рис. 2, л), установленной внутри или (что гораздо реже) снаружи. Это позволяет изменять диапазон измерения, уменьшать влияние гистерезиса и нелинейность характеристики. Жесткость такого сильфона определяется суммарной жесткостью пружины и сильфона.

Сильфоны применяются для измерения давлений и разрежений в более широком диапазоне, чем мембраны. Конструктивные особенности и параметры сильфонов определяются их функциональным назначением: измерительный УЧЭ, элемент обратной связи, гибкий элемент и т.д. Обычно диаметр сильфонов находится в пределах 12...100 мм, число гофр от 4 до 24. Рабочий ход сильфонов 2... 20 мм.

Манометры с трубчатой пружиной – один из наиболее распространенных видов деформационных приборов (рис. 3).

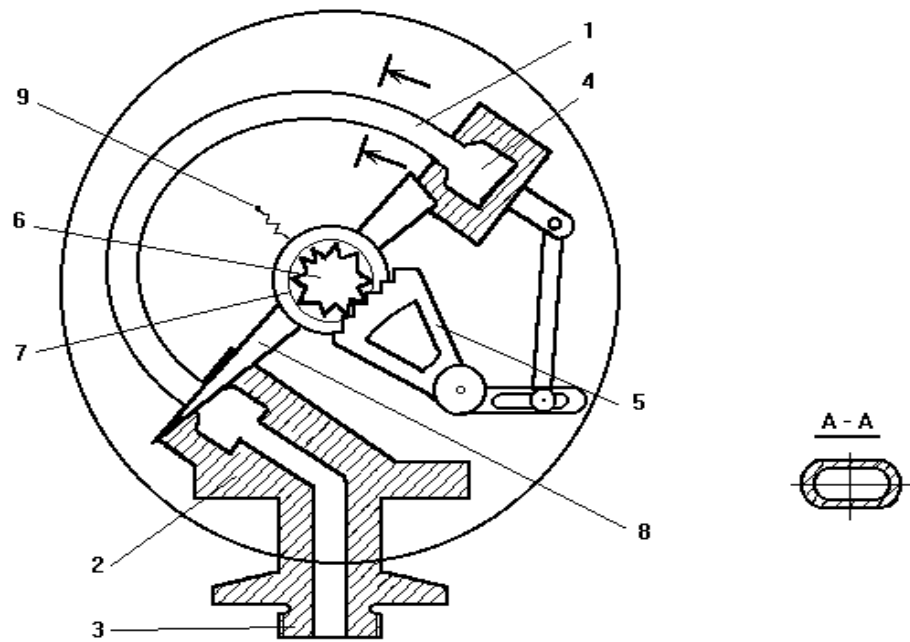


Рис. 3. Манометр с трубчатой пружиной

Чувствительным элементом таких приборов является согнутая по дуге круга, запаянная с одного конца трубка 1 эллиптического или овального сечения. Открытым концом трубка 1 через держатель 2 и ниппель 3 присоединяется к источнику измеряемого давления. Свободный (запаянный) конец 4 трубки 1 через передаточный механизм соединен с осью стрелки 8, перемещающейся по шкале манометра.

Трубки манометров, рассчитанных на давление до 50 кгс/см^2 , изготавливают из меди, а трубки манометров, рассчитанных на большее давление – из стали.

При давлениях, выходящих из указанного предела, в трубке возникают остаточные деформации, которые делают ее непригодной для измерения. Поэтому максимальное рабочее давление манометра должно быть ниже предела пропорциональности с некоторым запасом прочности.

В соответствии с этим шкалу манометра (верхний предел измерения) выбирают таким образом, чтобы рабочий предел измерения (наибольшее рабочее давление) был не менее $3/4$ верхнего предела измерения при постоянном давлении и не менее $2/3$ верхнего предела измерения при переменном давлении.

Верхние пределы измерения манометра выбирают из ряда: $(1; 1.6; 2.5; 4; 6) \cdot 10^n$, где n – любое целое положительное или отрицательное число.

Перемещение свободного конца трубки под действием давления невелико, поэтому для увеличения точности и наглядности показаний прибора в его конструкцию введен передаточный механизм, увеличивающий масштаб перемещения конца трубки.

Зубчато-секторный передаточный механизм показан на рис. 3. Он состоит из зубчатого сектора 5, шестерни 6, сцепляющейся с сектором, и спиральной пружины 7. На оси шестерни 6 закреплена указывающая стрелка манометра 8. Пружина 7 одним концом прикреплена к оси шестерни, а другим – к неподвижной точке платы 9 механизма.

Назначение пружинки – исключить люфт стрелки, выбирая зазоры в зубчатом зацеплении и шарнирных соединениях передаточного механизма.

Для получения достоверной информации о величине какого-либо параметра необходимо точно знать погрешность измерительного устройства. Определение основной погрешности в различных точках шкалы через определенное время производят путем его поверки, т.е. сравнивают показания поверяемого прибора с показаниями более точного, образцового прибора. Как правило, поверка приборов осуществляется сначала при возрастающем значении измеряемой величины (прямой ход), а затем при убывающем значении (обратный ход).

Манометры поверяются следующими тремя способами: поверка нулевой точки, рабочей точки и полная поверка. При этом первые две поверки производятся непосредственно на рабочем месте с помощью трехходового крана (рис. 4).

Поверка нулевой точки манометра состоит в отключении его от импульсной линии и соединении его с атмосферой (рис. 4, а). Невозвращение стрелки к нулю указывает на неисправность прибора.

Рабочая точка поверяется путем сравнения показаний рабочего и образцового манометров при подключении обоих к импульсной линии (рис. 4, б).

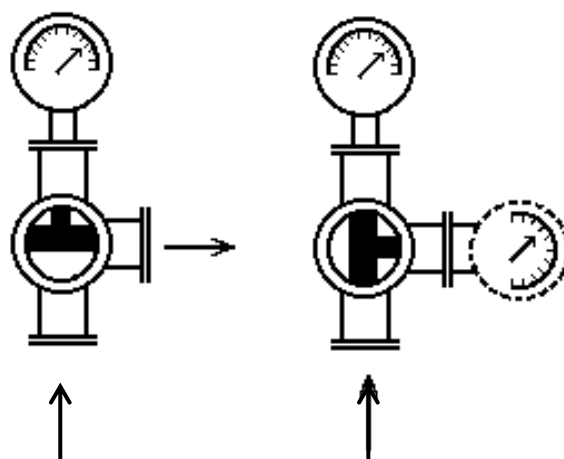


Рис. 4. Способы поверки манометров

Полная поверка манометров осуществляется в лаборатории на поверочном прессе или поршневом манометре (рис. 5) после снятия манометра с рабочего места.

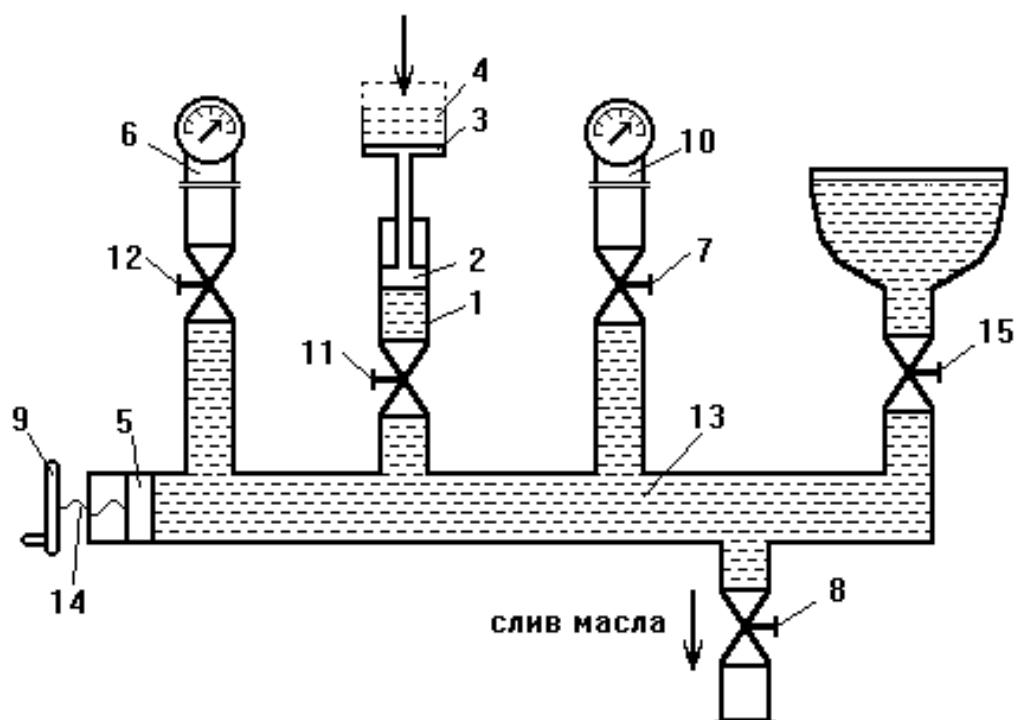


Рис. 5. Грузопоршневой манометр

Принцип действия поршневого манометра основан на уравновешивании сил, создаваемых, с одной стороны, измеряемым давле-

нием, а с другой стороны – грузами, действующими на поршень, помещенный в цилиндр.

Прибор состоит из колонки 1 с цилиндрическим шлифованным каналом и поршня 2, несущего на своем верхнем конце тарелку 3 для нагружения ее эталонными грузами 4. Поршень 5 винтового пресса служит для подъема и опускания поршня 2 так, чтобы при любых нагрузках поршень 2 был погружен в цилиндр примерно на $2/3$ своей высоты. Камеру 13 поршневого манометра заполняют трансформаторным, вазелиновым или касторовым маслом.

Давление в системе создают с помощью винта 14 с маховиком 9 и поршня 5. Штуцеры 6 и 10 служат для установки поверяемого и образцового манометров, соответственно. Вентиль 8 служит для слива масла.

В процессе измерений для устранения вредных сил трения поршня 2 о стенки цилиндрического канала колонки 1 поршень 2 вручную приводят во вращение.

Поршневой манометр может быть использован для поверки манометров как с помощью грузов, так и с помощью образцового манометра.

9.2. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Грузопоршневой манометр типа МТ-60.
2. Манометр образцовый.
3. Манометр рабочий.

9.3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом работы внимательно ознакомиться с конструкцией поршневого манометра, получить у преподавателя задание на поверку и подготовить протокол поверки.

1. Поверка рабочего манометра с помощью грузов:

а) маховик 9 повернуть против часовой стрелки до упора (рис. 5). Произвести поверку нулевой отметки шкалы и занести показания в таблицу;

б) перекрыть вентиль 7 и установить на тарелке 3 груз, соответствующий первой оцифрованной отметке шкалы прибора;

в) маховик 9 медленно поворачивать по часовой стрелке до тех пор, пока не всплывет тарелка 3 с грузом и метка на боковой

поверхности тарелки не совпадет со средней (белой) меткой на указателе положения. При давлении, близком к уравниваемому, рукой привести тарелку 3 вместе с грузами 4 во вращательное движение со скоростью 20–60 об/мин до полного совпадения меток. Снять показания поверяемого манометра 6 и занести их в таблицу;

г) выполнить поверку остальных отметок шкалы поверяемого манометра путем постепенного добавления на тарелку 3 поршня грузов в необходимом количестве. При этом с помощью маховика 9 поддерживать глубину погружения поршня 2 в цилиндре примерно на $2/3$ его высоты и отсчет производить при вращении тарелки;

д) выдержать поверяемый прибор на верхней предельной отметке 30 с;

е) провести поверку манометра с трубчатой пружиной на тех же отметках шкалы при обратном ходе, постепенно снимая грузы с тарелки поршня. Результаты занести в таблицу.

Перед установкой нового дополнительного груза на тарелку во время поверки следует закрыть вентиль 11 измерительной системы, после чего осторожно поставить груз на тарелку и снова открыть вентиль 11.

Перед снятием груза с тарелки вращением маховика 9 уменьшить давление до следующей поверяемой отметки, после чего убрать груз.

2. Поверка с помощью образцового манометра

а) перекрыть вентиль 11 и, вращая маховик 9 по часовой стрелке, создать давление в системе, соответствующее первой оцифрованной отметке по шкале образцового прибора;

б) провести поверку рабочего манометра на всех оцифрованных отметках при увеличении (прямой ход) и уменьшении (обратный ход) давления. Результаты занести в таблицу протокола поверки. В каждой поверяемой точке отсчет по образцовому прибору производится после простукивания по корпусу манометра.

9.4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Лица, впервые приступившие к лабораторной работе, должны получить инструктаж по технике безопасности при работе с приборами, находящимися под давлением. Инструктаж проводит преподаватель.

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

Особенно необходимо соблюдать следующие указания:

- перед каждым открытием запорных клапанов 7, 11, 12 и 15 следует снизить давление до нуля;
- рукоятку масляного насоса следует поворачивать медленно и плавно, а после ощущения легкого сопротивления перестать поворачивать;
- запрещается вынимать испытываемые манометры из манометрических гнезд.

9.5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

а) определить абсолютную погрешность по формуле

$$\Delta P = P - P_0,$$

где P – показания поверяемого прибора, кгс/см²; P_0 – действительное значение измеряемой величины (показания образцового прибора), кгс/см²;

б) вычислить приведенную относительную погрешность прибора, используя соотношение:

$$\gamma = \Delta P / N \cdot 100\%,$$

где N – диапазон измерения поверяемого манометра, кгс/см²;

в) на основании сравнения относительной погрешности поверяемого прибора с его классом точности сделать вывод о пригодности прибора для дальнейшей эксплуатации.

9.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

Отчет о работе должен содержать принципиальную схему поршневого манометра (рис. 5) и два протокола поверки манометра с трубчатой пружиной (с помощью грузов и с помощью образцового манометра), выполненных по следующей форме:

ПРОТОКОЛ

поверки манометра с трубчатой пружиной № _____ ,
 пределы измерения _____ , класс точности _____ , температура при поверке _____ ;

образцовый прибор № _____, класс точности _____.

№ п/п	Поверяемая отметка шкалы, кгс/см ² (при поверке с помощью грузов)	Показания образцового прибора, кгс/см ² (при поверке с помощью образцового манометра)	Показания поверяемого прибора, кгс/см ²		Погрешность ΔP , кгс/см ²	
			пря- мой ход	обрат- ный ход	прямой ход	обрат- рат- ный ход

Результаты поверки

1. Наибольшая разность показаний ΔP _____
 2. Величина максимальной приведенной погрешности γ _____
 3. Положение стрелки прибора при давлении, равном нулю: до поверки _____, после поверки _____
- Заключение _____

Дата поверки _____ Подпись _____

9.7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое давление?
2. Перечислите виды измеряемых давлений.
3. Какие единицы измерения давления вы знаете? Каково соотношение между ними?
4. Какие виды чувствительных элементов СИ давления вы знаете?
5. Приведите схемы УЧЭ деформационных преобразователей давления и поясните принцип их действия.
6. Как выбрать шкалу манометра (верхний предел измерений) для измерения постоянного и переменного давления?
7. Каково назначение спиральной пружины в передаточном механизме манометра с трубчатой пружиной?
8. Какие способы поверки манометров с трубчатой пружиной наиболее часто используются в промышленных условиях?

9. Какие причины вызывают появление дополнительной погрешности деформационных манометров?
10. Объясните порядок поверки манометра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захарова, А. Г. Электрические измерения неэлектрических величин [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов втузов, обучающихся по специальности 140604 «Электропривод и автоматика пром. установок и технолог. комплексов» / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово, 2009. – 151 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90372&type=utchposob:common>

2. Захарова, А. Г. Измерительная техника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. электропривода и автоматизации. – Кемерово, 2011. – 151 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90487&type=utchposob:common>