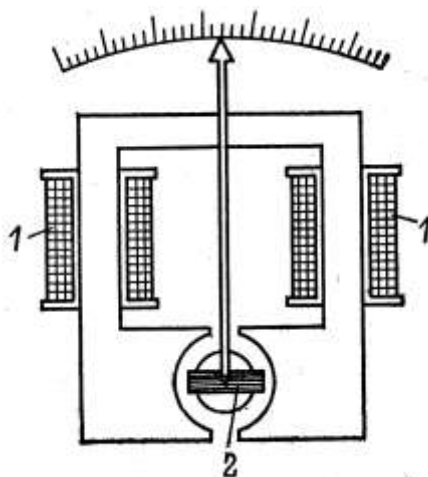


Министерство образования и науки РБ  
ГБПОУ «Бурятский лесопромышленный колледж»



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Специальность:

27.02.02 Техническое регулирование и управление качеством

Дисциплина

Электротехнические измерения

2016г.

**Методические указания по выполнению лабораторных работ и практических занятий Улан-Удэ: 2016 г. 61 стр.**

Специальность

27.02.02 Техническое регулирование и управление качеством

«Электротехнические измерения»

(наименование дисциплины)

Научно-методический совет

БЛПК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

Автор: Громакина Е.М.  
(Ф. И.О.)

преподаватель ОПД  
(занимаемая должность и место работы)

Рецензент: Н.Б  
(Ф. И. О.)

Преподаватель физики  
(занимаемая должность и место работы)

## Оглавление

Введение.....	4
Раздел I. Общие требования. Правила техники безопасности. ....	4
Раздел II. Указания к выполнению лабораторных работ.....	5
Библиографический список.....	6

### Лабораторные работы

1. Выполнение поверки технического вольтметра.....	12
2. Изучение конструкций измерительных механизмов.....	15
3. Выполнение измерения электрических величин с помощью цифрового мультиметра.....	22
4. Поверка однофазного индукционного счетчика.....	24
5. Изучение электронно-лучевого осциллографа.( ЭО-7 / СІ-1). Определение временных характеристик сигнала.....	27
6. Испытание измерительного трансформатора тока и трансформатора напряжения.....	42
7. Выполнение измерения силы тока, напряжения и мощности приборами разных систем.....	47

### Практические работы

1. Обработка результатов измерений.....	7
2. «Измерение мощности», «Измерение электрической энергии»..	52
3. Расшифровка электроизмерительных приборов.....	59

## Введение

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам II курса для изучения дисциплины «Электротехнические измерения» - в организации эффективной работы по усвоению методики проведения лабораторных работ

- в умении пользоваться измерительными приборами;
- в умении производить проверку электронных и электрических элементов;
- производить подбор элементов электрических цепей и электронных схем;
- в организации их деятельности по проведению эксперимента;
- в формировании практических навыков работы с электротехническими устройствами, со справочным материалом, исследовательских умений (сравнивать, анализировать, делать выводы, оформлять результаты).

Проведение лабораторных работ включает в себя освоение курса «Электротехнические измерения» по разделам: «Электрические цепи постоянного тока», «Электрические цепи переменного тока» и «Трёхфазные электрические цепи», «Осциллографы».

### Раздел I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Требования к теоретической готовности студентов.

Для выполнения лабораторных работ необходимы теоретические знания тем: «Электрические цепи постоянного тока», «Электрические цепи переменного тока» и «Трёхфазные электрические цепи», «Трансформаторы», «электронные усилители», «электронные генераторы».

### Правила техники безопасности

1. В лаборатории применяется трёхфазная, четырёхпроводная сеть с линейным напряжением 220 В и фазным 127 В.
2. Вся электрическая сеть включается./отключается под напряжение одним трёхфазным рубильником в распределительном шкафу, расположенном у стола преподавателя.
3. На каждом рабочем месте имеются индивидуальные коммутационные устройства.
4. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности и получившие инструктаж на рабочем месте.
5. Работать следует только с теми устройствами, которые имеют непосредственное отношение к выполняемой лабораторной работе.
6. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
7. После сборки схемы дать её на проверку преподавателю.

8. Перед включением схемы под напряжение убедитесь в безопасности и обязательно предупредить членов бригады: Осторожно! Включаю!
9. При обнаружении каких-либо неисправностей, запахов, исчезновения напряжения сети, а также при несчастном случае, студенты обязаны немедленно прекратить работу, отключить схему и сообщить преподавателю.
10. Иметь в виду, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможны резкие повышения напряжения, а на емкости какое-то время напряжение сохраняется.
11. Проверять отсутствие напряжения следует переносным вольтметром или указателем напряжения, которые предварительно должны быть испытаны на работоспособность.

### **Указания к выполнению лабораторных работ.**

#### **Цели:**

1. Освоить методику сборки электрических схем на лабораторном стенде
2. Освоить методику измерений и расчета электрических величин на лабораторном стенде
3. Строить графики зависимостей электрических величин, вольт – амперные характеристики и другое.

Перед выполнением лабораторной работы студент должен дома ознакомиться с теоретическими положениями, методами и средствами проведения очередной работы (работы выполняются по графику имеющемуся в лаборатории), как правило, в одно занятие выполняется одна лабораторная работа. До проведения эксперимента преподаватель проверяет у студента теоретические знания, которые будут проверяться экспериментальным путем, а так же порядок выполнения работы.

При проведении эксперимента бригада составляет протокол в одном экземпляре. В протоколе указывают наименование работы, состав бригады, таблицы перечней приборов и результатов эксперимента. Показания многопредельных приборов следует записывать в делениях шкалы и через дробь предел измерения прибора. Такая форма записи позволяет уменьшить время эксперимента и снизить вероятность возникновения промаха. По окончании эксперимента, не разбирая схемы, протокол представляют на подпись преподавателю. После подписи разбирают схему и убирают приборы на стеллаж.

В соответствии с описанием лабораторной работы каждым студентом составляется **отчет**, который включает:

1. Наименование, цель и программу работы.
2. Основные теоретические положения (не менее двух тетрадных листов),

3. Таблицу использованных приборов.
4. Схему и таблицу экспериментальных и расчетных данных. В таблице все значения должны быть выражены в единицах величин.
5. Пример расчета одного эксперимента.
6. При необходимости построить графики.
7. Выводы по работе в соответствии с ее целью.

Отчет составляет каждый студентом, обязательно в отдельной тетради для лабораторных работ. Отчет должен быть написан чернилами, схемы выполнены карандашом (шариковой ручкой) с применением линейки и трафаретов или оформлен в любом текстовом и графическом редакторе компьютера.

Для защиты лабораторной работы необходимо знать методику выполнения любого опыта, объяснить с теоретической точки зрения, полученные результаты, а также самостоятельно изучить и знать ответы на контрольные вопросы, помещенные в конце описания каждой работы.

Таблица использованных приборов должна иметь следующий вид:

Таблица 1 – Перечень приборов

Наименование прибора	Тип	Система измерит. механизма	Заводской номер	Класс точности	Пределы измерения	Примечания (число делений шкалы)

## Литература

1. Электрические измерения: Учебник для вузов / А.В.Фремке, Е.М.Душин. - Л.: Энергия, 1990. – 390 с.: ил.
2. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учебник для вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. –М.: Высш. шк., 2002. – 205 с.: ил.
3. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие / К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович, Б.Я. Литвинов. - СПб.: Питер, 2006. - 368 с.: ил.
4. Шишмарев В.Ю. Средства измерений: Учебник для студентов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. -320 с.
5. Описание лабораторных работ (151-157): П.А.Воронин, Г.Р. Елизаров. – Орджоникидзе.: Подразделение оперативной полиграфии СКГМИ, 1984. – 88 с.

## Практическая работа № 1.

### «Обработка результатов измерений»

**Цель работы:** Изучение основных понятий в области видов и методов измерения. Научиться обработке результатов измерений.

### ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

*Измерительной информацией называется информация о значениях физических величин.*

В теории измерений мерой неопределенности результата измерения является **погрешность результата наблюдений**, т.е. отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины.

$$\text{Погрешность равна} \quad \Delta = \chi_{\text{изм}} - \chi,$$

где  $\chi_{\text{изм}}$  – результат измерений;  $\chi$  – истинное значение физической величины.

В формулу для оценки погрешности подставляют вместо истинного значения физической величины ее **действительное значение**, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Таким образом, формула для оценки погрешности имеет вид

$$\Delta\chi_{\text{изм}} = \chi_{\text{изм}} - \chi_{\text{д}}$$

где  $\chi_{\text{д}}$  — действительное значение физической величины.

Различают **абсолютные** и **относительные** погрешности.

**Абсолютная погрешность** измерения — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Например, погрешность измерения массы 5 кг равна 0,005 кг. Результат измерения массы выражен в килограммах, поэтому абсолютная погрешность также выражается в этих же единицах — килограммах.

**Относительная погрешность** измерения — это погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины. Она может выражаться в долях измеряемой величины или в процентах. Например, если абсолютная погрешность измерения длины 10 м равна 0,01 м, то относительная погрешность будет равна  $0,01/10 = 0,001$ , или 0,1 %.

Кроме обычной погрешности измерения различают так называемую *грубую погрешность измерения* — *промах*.

### Задача № 1

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока  $I = 67 \text{ мА}$ , если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1.0 и пределом измерения  $A = 100 \text{ мА}$ .

#### Решение

Для магнитоэлектрического миллиамперметра класс точности определяется

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100\% ,$$

$\approx \pm 1,0\%$  значением максимальной приведенной погрешности

$$\Delta = \pm \frac{\gamma X_N}{100\%} (\text{мА}).$$

то предел инструментальной абсолютной погрешности

Миллиамперметр имеет равномерную шкалу с нулем в начале шкалы, и поэтому  $X_N = A = 100 \text{ мА}$ :

$$\Delta = \pm \frac{1,0\% \cdot 100 \text{ мА}}{100\%} = \pm 1,0 (\text{мА})$$

Предел инструментальной относительной погрешности

$$\delta = \pm \frac{1,0 \text{ мА}}{67 \text{ мА}} \cdot 100\% \approx \pm 1,5\%$$

### Задача № 2

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения  $U = 8,6 \text{ В}$ , если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения  $A = \pm 25 \text{ В}$ .

#### Решение

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100\% .$$

Предел абсолютной погрешности находится из формулы:

Вольтметр имеет равномерную шкалу с нулем в середине шкалы. Поэтому

$$X_N = 25 + |25| = 50 (\text{В}), - = |$$

$$50) / 100\% = \pm 1,25 (\text{В}). \cdot = \pm (2,5 \Delta$$



Найдем предел относительной погрешности измерения:

$$\pm 15 (\%) \cdot \approx 100 / 8,6 \cdot 100 \% = \pm (1,25 \cdot / U) \Delta = \pm (\delta)$$

### Задача № 3

Определить инструментальную абсолютную погрешность измерения сопротивления  $R_x = 200$  кОм с помощью комбинированного прибора, если он имеет класс точности 4,0, длину рабочей части шкалы  $L = 80$  мм, отметке 200 кОм соответствует длина шкалы  $l = 40$  мм.

#### Решение

В комбинированном приборе используется магнитоэлектрический омметр, причем шкала прибора при измерении сопротивлений неравномерная. Инструментальная относительная погрешность измерения сопротивления  $\delta_{R_x}$  с помощью таких омметров вычисляется через их класс точности по формуле

$$\delta_{R_x} = \pm (\gamma \cdot L / l),$$

т.е. 
$$\delta_{R_x} = \pm (4,0 \cdot 80 / 40) = \pm 8,0 (\%)$$

С другой стороны 
$$\delta_{R_x} = \pm (\Delta_{R_x} / R_x) \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta_{R_x}$  - инструментальная абсолютная погрешность измерения сопротивления.

Тогда 
$$\Delta_{R_x} = \pm (\delta_{R_x} \cdot R_x) / 100 = \pm (8,0 \cdot 200) / 100 = \pm 16 \text{ (кОм)}.$$

### Задача № 4

Определить относительную и абсолютную погрешности воспроизведения сопротивлений  $R_1 = 0,52$  Ом;  $R_2 = 120,00$  Ом;  $R_3 = 18412,00$  Ом с помощью образцового магазина сопротивлений, если его класс точности  $0,05/4 \cdot 10^{-6}$ , магазин содержит 7 декад и цена младшей декады 0,01 Ом.

#### Решение

Сначала определим наибольшее значение воспроизводимой данным магазином сопротивлений величины:

$$R_k = 9 \cdot 10^4 + 9 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 9 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0 + 9 \cdot 10^{-1} + 9 \cdot 10^{-2} \text{ (Ом)};$$

$$R_k \cdot 10 \approx 99999,99 \text{ (Ом)}^5 \text{ (Ом)}.$$

Для нормирования пределов погрешности магазинов мер одночленные формулы не применяются, поскольку они не отражают всегда имеющей место зависимости абсолютной или относительной погрешности меры от номинального значения воспроизводимой величины. Для них используются двухчленные формулы:

для абсолютной погрешности:  $X) \cdot = \pm(a + b\Delta$

для относительной погрешности:  $(|X \cdot = \pm[c + d\delta_k 1]). -/X|$

В нашем случае заданы величины  $c$  и  $d$ :  $c = 0,05 \%$ ;  $10 \cdot d = 4^{-6}\%$ .

Найдем относительные погрешности воспроизведения сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ :

$$\delta_{R_1} 10 \cdot = \pm[0,05 + 4^{-6}(|10^5 \pm 0,3 (\%), \approx 1)] - /0,52|$$

$$\delta_{R_2} 10 \cdot = \pm[0,05 + 4^{-6}(|10^5 \pm 0,53 (\%), \approx 1)] - /120|$$

$$\delta_{R_3} 10 \cdot = \pm[0,05 + 4^{-6}(|10|^{-5} \pm 0,050 (\%). \approx 1)] - /18412|$$

Известно, что связь между  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  - следующая:  $d = a/R_k$ ,  $c = b+d$ .

Для удобства выразим  $c$  и  $d$  в относительных единицах:  $10 \cdot c = 5^{-4} 10 \cdot$ ,  $d = 4^{-8}$ .

Тогда  $a = d |R_k 10 \cdot| = 4^{-8} 10^{-5} = 0,004$  (Ом);

$$10 \cdot d = 5^{-b} = c^{-4} 10 \cdot 4^{-8} 10 \cdot 5 \approx^{-4}.$$

Теперь можно определить абсолютные погрешности воспроизведения сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

$$\Delta_{R_1} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \pm 0,0043 \text{ (Ом)}, \approx 0,52) \cdot$$

$$\Delta_{R_2} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \pm 0,0064 \text{ (Ом)}, \approx 120) \cdot$$

$$\Delta_{R_3} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \pm 9,2 \text{ (Ом)}, \approx 18412) \cdot$$

### Задачи для самостоятельного решения

**Задача № 1** Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения  $U = 6,4$  В, если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1,5 и пределом измерения  $A = 25$  В.

**Задача № 2** Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока  $I = 6,8$  мА, если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения  $A = \pm 10$  мА.

**Задача № 3** Выбрать магнитоэлектрический вольтметр со стандартными пределами измерения и классом точности при условии, что результат измерения напряжения должен отличаться от действительного значения  $U_d = \Delta = 44$  В не более, чем на  $\pm 0,4$  В.

**Задача № 4** Оценить инструментальные погрешности измерения напряжения двумя магнитоэлектрическими вольтметрами с классом точности 0.2 и 1.5 и указать, какой из результатов получен с большей точностью, а также могут ли показания  $U_1 = 21,7$  В и  $U_2 = 20,8$  В исправных приборов отличаться так, как задано в условии? Вольтметры имеют нули в начале шкалы и пределы  $A_1 = 75$  В и  $A_2 = 25$  В.

**Задача № 5** Определить относительную и абсолютную погрешности воспроизведения сопротивления  $R = 25^9 10 \cdot \text{Ом}$  с помощью имитатора сопротивлений, если его класс точности  $0,1/2,5^{-9} 10 \cdot$ , диапазон воспроизводимых сопротивлений от  $1^5 10 \cdot \text{Ом}$  до  $9,9^{14} \text{ Ом}$ .

**Задача 6.** Напишите в столбик наименование основных физических величин международной системы единиц, их наименование и условное обозначение.

**Задача 7.** Назовите известные внесистемные единицы физических величин, узаконенные и широко применяющиеся в нашей стране.

**Задача 8.** Попробуйте с помощью таблицы дать приставки к основным единицам физических величин. Запомните приставки, наиболее распространенные в машиностроении для измерений линейных и угловых величин.

**Задача 9.** Определите наличие и исключите из результатов равноточных измерений диаметров отверстий, выполненных нутромером, грубые ошибки (результаты измерений представлены в миллиметрах):

30,28; 30,38; 30,25; 30,75; 30,40; 30,35; 30,33; 30,21; 30,24; 30,71; 30,30; 30,60.

### Контрольные вопросы

1. Что такое единство измерений?
2. Что понимают под термином «физическая величина»? Приведите примеры физических величин, их единиц (основных и производных) и условных обозначений.

3. Что такое система единиц физических величин?
4. Какие основные и дополнительные единицы физических величин входят в СИ?
5. Что такое эталон единицы физической величины?
6. Какие методы измерений находят применение в промышленности?
7. С какой целью выполняется обработка результатов измерений?
8. Как определяется среднее арифметическое значение измеряемой величины?

## **Лабораторная работа №1**

### **Выполнение поверки технического вольтметра.**

**Цель работы.** Ознакомление с методикой поверки технических амперметров и вольтметров и определение их основных характеристик.

#### **Оборудование и приборы.**

1. Амперметр 0 N367 055025 ЭМ 1,5
  2. Амперметр п
  3. Вольтметр 0
  4. Вольтметр п M2004 2983 ЭМ 1,5
  5. Мегаомметр M1101M 384660 МЭ 1,0
- Реостаты, понижающий трансформатор напряжения, секундомер, миллиамперметр, милливольтметр.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с приборами, применяемыми в настоящей работе, записать их паспортные данные в таблицу приборов.
2. Собрать схему поверки прибора (рисунок 1 или 2).
3. Подать напряжение на схему поверки. Перемещая движок реостата, плавно переместить стрелку прибора от нулевого значения до максимального и обратно и убедиться в отсутствии трения стрелки. Прогреть прибор номинальным током. После выключения схемы проверить, находится ли указатель на нулевой отметке шкалы. В случае необходимости с помощью корректора установить указатель на нулевую отметку. Указатель испытываемого прибора установить последовательно на всех числовых отметках шкалы сначала при возрастании измеряемого тока (напряжения) от нуля до наибольшего значения по шкале и за тем по тем же точкам при убывании от наибольшего значения по шкале до нуля, при этом необходимо следить за тем, чтобы указатель подходил к числовой отметке только с одной стороны. По образцовому прибору определить действительное значение

измеряемой величины на этих отметках. Результаты наблюдений и вычислений погрешностей записать в таблицу № 1. Вариацию показаний  $\gamma_{var}$  и поправку вычислить по формулам: , ; , ;

При вычислении приведённой погрешности и поправки для каждой пары абсолютных погрешностей выбирать большее значение. Определить время установления показаний поверяемого прибора на числовой отметке в середине шкалы. Включить одновременно схему и секундомер, выключить секундомер в момент времени, когда амплитуда колебаний стрелки станет менее 1 % длины шкалы. Опыт повторить 3 раза.

Результаты наблюдений и вычислений записать в таблицу № 2. Методом амперметра или вольтметра при номинальном токе поверяемого прибора измерить его сопротивление. Результаты наблюдений и расчётов записать в таблицу № 2. Измерение сопротивления изоляции. Зажим “линия” мегаомметра соединить с одним из зажимов поверяемого прибора, а зажим “земля” – с корпусом прибора. Вращая равномерно ручку генератора мегаомметра со скоростью 90–120 об/мин, произвести отсчёт по шкале.

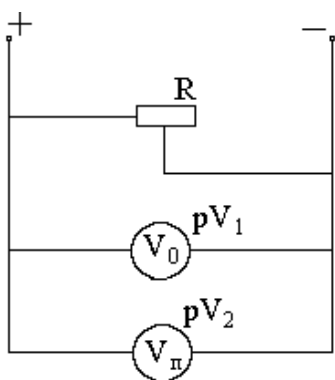
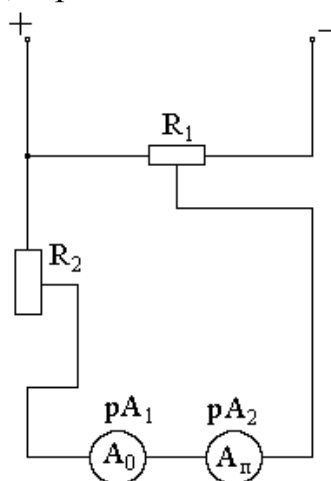


Рисунок 1.



1.

Рисунок 2. Схема поверки амперметра.

Рисунок 1. Схема поверки вольтметра.

Таблица № 1.

Показания поверяемого амперметра $I_{п}$ , мА	Показания образцового амперметра, А	Абсолютные погрешности, мА	Относительные погрешности, %	Приведённая погрешность, $\gamma$ , %	Вариация показаний, $\gamma_{var}$ , %	поверка Поправка, $-\Delta$ , мА
		Юубыв $\Delta$ возр $\Delta$ убыв				

30	29.3	29.6	0. 7	2.389	0.467	-0.2	0.4
60	60.2	60	0. 2	0.332	0.221	0.133	0
90	89.6	89.5	0. 4	0.446	0.267	0.067	0.5
120	119.6	119.8	0. 4	0.334	0.267	-0.133	0.2
150	149.6	149.4	0. 4	0.268	0.267	0.133	0.6

Таблица № 2.

Определение характеристик приборов.

Время успокоения, с				Сопротивление и потребляемая мощность поверяемого прибора				Сопротивление изоляции, МОм
t1	t2	t3	t	I, А	U, В	R <sub>пр</sub> , Ом	P <sub>пр</sub> , Вт	
2.9	2.35	2.5	2.58	1.1	0.11	0.1	0.121	500

I<sub>н</sub>=150мА ,

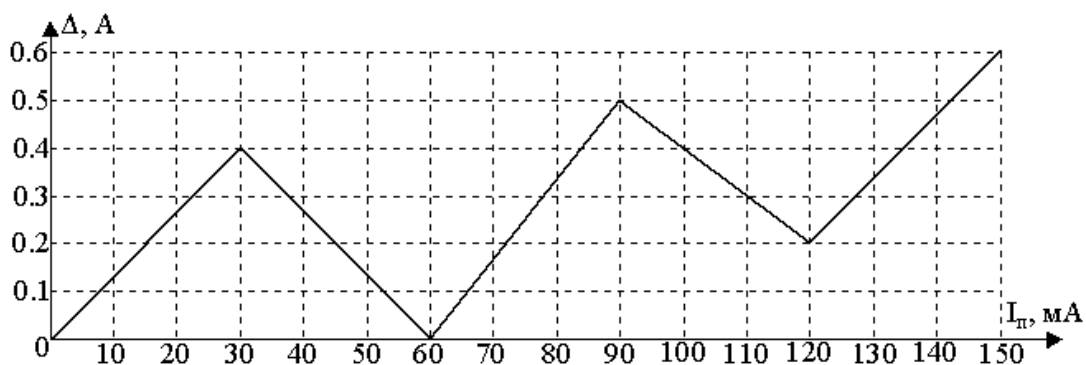


Рисунок 3. График поправок.

**Вывод.** В ходе работы была выполнена поверка амперметра (были применены 2 амперметра : образцовый и поверяемый). При поверке амперметра были вычислены абсолютная, приведённая, относительная погрешности, а также была определена поправка для различных значений тока. Погрешности оказались незначительными, что вполне допустимо, то есть соответствует стандартам ГОСТ. Были также исследованы характеристики амперметра (время успокоения, сопротивление изоляции, мощность).

**Часть 2.** На основе показанной поверки осуществить поверку вольтметра.

### Лабораторная работа № 3

#### Изучение конструкций измерительных механизмов

**Цель работы:** изучить различные системы приборов

#### 1. Измерительные механизмы электромагнитной системы.

Существует две основные разновидности измерительных механизмов электромагнитной системы: с плоской катушкой и с круглой катушкой. На рис. 2 показано устройство широко распространенного электромагнитного механизма с плоской катушкой.

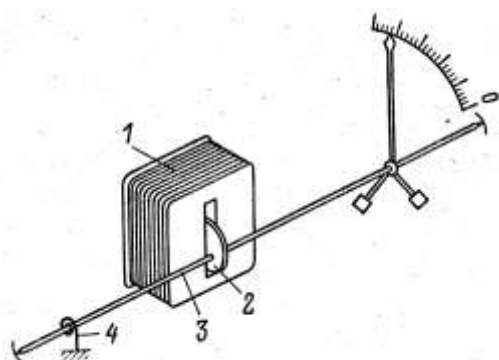


Рис. 2. Устройство измерительного механизма

Неподвижная катушка имеет воздушный зазор в виде узкой щели. Подвижный плоский сердечник эксцентрично закреплен на оси. При протекании тока по катушке образуется магнитное поле и сердечник втягивается в щель. Таким образом создается вращающий момент, ось поворачивается вместе с указательной стрелкой, пружина закручивается, в результате чего возникает противодействующий момент. Успокоители в электромагнитных механизмах применяют воздушные или магнитоиндукционные (на рисунке успокоитель не показан).

Для приборов магнитоэлектрической системы характерна высокая точность, до класса точности 0,1.

Большим достоинством магнитоэлектрических приборов является равномерность шкалы, высокая чувствительность и малая мощность потерь.

Основным недостатком приборов магнитоэлектрической системы является невозможность их применения без специальных преобразователей в цепях переменного тока и относительно сложной конструкцией.

Приборы магнитоэлектрической системы используются, главным образом, в качестве гальванометров, амперметров, вольтметров и омметров.

Приборы **электромагнитной** системы можно использовать в цепях переменного тока. Точность их меньше, по сравнению с приборами магнитоэлектрической системы.

Достоинство электромагнитных приборов; простота конструкции, сравнительно низкая стоимость, надежность в эксплуатации, устойчивость к перегрузкам.

Недостатки: низкая чувствительность и точность, большое потребление мощности, неравномерность шкалы.

Применяют приборы электромагнитной системы в цепях переменного тока как амперметры, вольтметры, логометры, используют в частотомерах и фазометрах.

## **2. Астатические измерительные механизмы.**

Практически исключить влияние внешних магнитных полей удастся в астатических измерительных механизмах. Устройство такого механизма показано на рис. 3, а. Этот механизм имеет две катушки, соединенные между собой последовательно, и два сердечника, укрепленные на одной оси. Вращающие моменты, действующие на ось при втягивании сердечников, направлены в одну сторону. Таким образом, подвижная часть поворачивается под действием суммы двух моментов. Направления обмоток выбраны так, что магнитные потоки катушек  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  (рис. 3, б) направлены встречно. При появлении внешнего магнитного поля с потоком  $\Phi_{внеш}$  поле одной катушки усиливается, другой - ослабляется. Тогда один вращающий момент увеличивается, другой - ослабляется. Сумма вращающих моментов, действующих на подвижную часть прибора, остается неизменной.

## **3. Измерительные механизмы электродинамической и ферродинамической систем.**

Схема устройства представлена на рис. 4, а. Он состоит из неподвижной катушки *А*, внутри которой может поворачиваться подвижная катушка *Б*. Неподвижная катушка, состоящая обычно из двух секций, наматывается толстым медным проводом и имеет малое количество витков. Подвижная катушка имеет большое количество витков проводом малого сечения. На оси *1* помимо подвижной катушки укреплены спиральные пружины *2*, указательная стрелка *4* и крыло воздушного успокоителя *3*. Магнитоиндукционные успокоители в



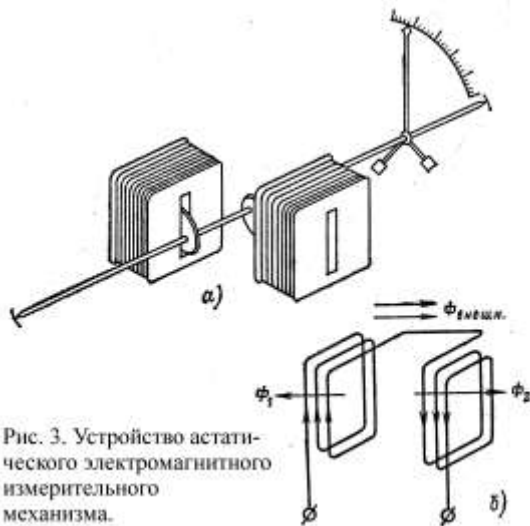


Рис. 3. Устройство аstaticкого электромагнитного измерительного механизма.

электродинамических приборах применяются редко. Ток к подвижной катушке подводится через спиральные пружины (или растяжки), которые одновременно служат для создания противодействующего момента.

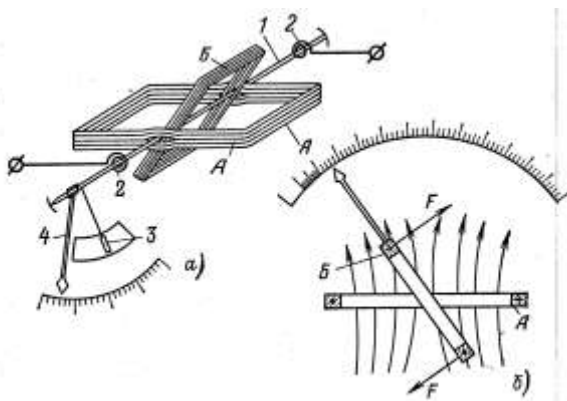


Рис. 4. Устройство измерительного механизма электродинамической системы (а) и схема, поясняющая принцип его действия (б)

.При прохождении измеряемого тока по катушкам в результате взаимодействия магнитного поля подвижной катушки с магнитным полем тока неподвижной катушки создается вращающий момент (рис. 4, б). Подвижная катушка стремится занять положение, когда магнитные поля катушек совпадают. На постоянном токе принципы действия электродинамического и магнитоэлектрического механизмов аналогичны. Только в электродинамическом приборе магнитное поле создается не постоянным магнитом, а током неподвижной катушки.

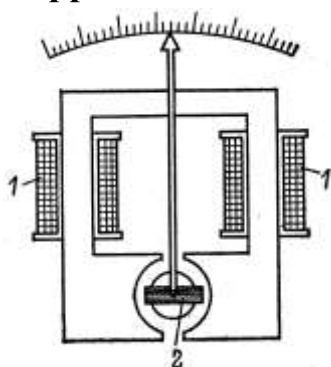
Отсутствие стальных сердечников в **электродинамических** измерительных механизмах исключает погрешности от гистерезиса и вихревых токов, но они очень чувствительны к влиянию внешних магнитных полей.

Высокая точность электродинамических приборов позволяет применять их в качестве образцовых. Приборы электродинамической системы можно применять на постоянном и переменном токе.

Недостатки: влияние внешних магнитных полей, низкая чувствительность, относительно большое потребление мощности, высокая стоимость. Кроме того, они плохо переносят механические воздействия, требовательны к уходу.

Используются в качестве амперметров, вольтметров и ваттметров.

#### 4. Ферродинамические измерительные механизмы (рис. 5).



**Рис. 5. Устройство ферродинамического измерительного механизма.**

Ферродинамические измерительные механизмы отличаются от электродинамических наличием магнитопровода внутри не подвижной катушки 1 и подвижной катушки 2. Это позволяет получить сильное магнитное поле в воздушном зазоре и большой вращающий момент. Увеличение вращающего момента повышает чувствительность приборов и дает возможность повысить их прочность. Внешние магнитные поля на показание ферродинамических приборов влияют очень мало.

В **ферродинамических** приборах наличие стальных сердечников существенно увеличивает погрешность. Приборы этой системы используются в амперметрах, вольтметрах, ваттметрах, частотометрах, фазометрах.

#### **Измерительные механизмы электростатической системы.**

Принцип действия электростатических измерительных механизмов основан на взаимодействии электрически заряженных пластин. На рис. 6 схематично показано устройство одного из механизмов электростатической системы. Между неподвижными пластинами 1 может перемещаться подвижная пластина 2, укрепленная на оси 3. При подключении к прибору напряжения подвижная и неподвижные пластины получают противоположные заряды и

между ними возникает электрическое поле. В результате подвижная пластина втягивается в зазор между неподвижными, создавая вращающий момент, под действием которого перемещается укрепленная на оси указательная стрелка. Противодействующий момент создается спиральной пружиной 4. Для повышения чувствительности приборов увеличивают количество подвижных и неподвижных пластин. Успокоители в электростатических приборах применяются магнитоиндукционные или воздушные.

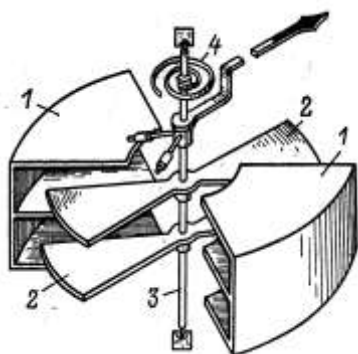


Рис. 6. Устройство электростатического измерительного механизма.

Приборы **электростатической** системы применяются для измерения постоянных и переменных напряжений. Показания их не зависят от внешних магнитных полей, частоты.

Достоинство: большое входное сопротивление, активной мощности приборы этой системы практически не потребляют.

Недостаток: низкая чувствительность, неравномерность шкалы.

### 1. Измерительные механизмы индукционной системы.

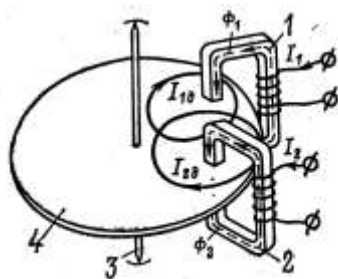


Рис. 7. Устройство индукционного измерительного механизма.

Индукционные измерительные приборы могут работать только на переменном токе. Схема устройства измерительного механизма представлена на рис. 7. Основными его элементами являются два неподвижных электромагнита 1 и 2, а также алюминиевый диск 4, который закреплен на оси 3 и может свободно вращаться. По обмоткам электромагнитов текут

переменные токи  $I_1$  и  $I_2$ , сдвинутые по фазе на угол  $\phi$ . Эти токи создают два магнитных потока  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , сдвинутые по фазе на тот же угол. Магнитные потоки, пронизывая диск, наводят в нем э.д.с., под действием которых текут вихревые токи. Поток  $\Phi_1$  вызывает появление тока  $I_{1д}$ , поток  $\Phi_2$  - тока  $I_{2д}$  (направления всех токов и магнитных потоков даны для определенного момента времени). В результате взаимодействия потока  $\Phi_1$  с током  $I_{2д}$  и потока  $\Phi_2$  с током  $I_{1д}$  появляются вращающие моменты. Следует отметить, что обязательным условием работы индукционного измерительного механизма является сдвиг по фазе между потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ .

Приборы **индукционной** системы могут применяться в цепях переменного тока с одной определенной частотой.

Достоинство их - малое влияние внешних магнитных полей, стойкость к перегрузкам, надежность в работе, невысокая стоимость. Используются они в счетчиках электроэнергии.

## 2. Измерительные механизмы вибрационной системы.

Вибрационные измерительные механизмы (язычковые) являются разновидностью электромагнитной системы. Схема устройства показана на рис. 8. Обмотка электромагнита 1 питается переменным током, частоту которого нужно измерить. Тонкие стальные пластины 2, называемые язычками (на рисунке виден только 1 язычок), укреплены на общей планке 4. Эта планка жестко скреплена с якорем 3, расположенным вблизи сердечника электромагнита. Язычки имеют различные частоты собственных колебаний. Под действием переменного магнитного поля якорь дважды за период притягивается к сердечнику и отходит от него. Вместе

с якорем вибрируют язычки. Наибольшей будет амплитуда колебаний этого язычка, у которого частота собственных колебаний совпадает с частотой вынужденных. На рис. 8, б, показана шкала, где измеряемая частота = 49 Гц.

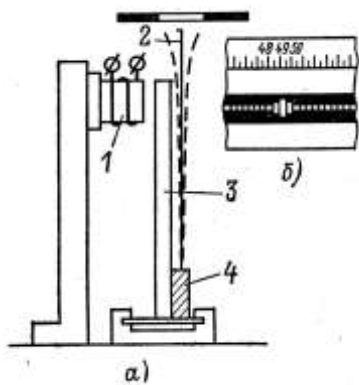


Рис. 8. Устройство вибрационного частотомера.

**Вибрационные** измерительные механизмы являются разновидностью электромагнитной системы. Применяются они в частотомерах - для

измерения низкой частоты, главным образом, промышленной, и только в стационарных условиях.

### 3. Задание

1. Расшифровать обозначения предлагаемых приборов в соответствии с таблицей 1.
2. Изучить принцип действия, достоинства, недостатки и область применения измерительных механизмов различных систем.
3. Результаты работы свести в таблицы 1 и 2.

Таблица 1.

№	
1	A2-, B2-, B2-, Г2-, У2-, Л2-, P3-, C1-, Ф2-, X1-, Ч3-
2	A3-, B5-, B3-, Г3-, E3-, Л3-, P4-, C2-, Ф4-, X2-, Ч5-
3	A7-, B5-, B7-, Г4-, E4-, Л4-, P5-, C4-, Ф3-, X3-, Ч9-
4	A2-, B7-, B7-, Г5-, E6-, Л2-, P6-, C6-, Ф2-, X4-, Ч3-
5	A3-, B2-, B7-, Г6-, E8-, Л3-, P3-, C8-, Ф4-, X1-, Ч5-
6	A7-, B5-, B2-, Г2-, E2-, Л4-, P5-, C9-, Ф3-, X2-, Ч9-
7	A2-, B7-, B3-, Г3-, E3-, Л2-, P5-, C1-, Ф2-, X3-, Ч3-
8	A3-, B2-, B7-, Г4-, E4-, Л3-, P6-, C2-, Ф4-, X4-, Ч5-
9	A7-, B5-, B7-, Г5-, E6-, Л4-, P3-, C4-, Ф3-, X1-, Ч9-
10	A2-, B7-, B7-, Г6-, E8-, Л2-, P4-, C6-, Ф2-, X2-, Ч3-

Таблица 2.

Виды измерительных механизмов	Принцип действия	Достоинства	Недостатки	Область применения

## 4. Содержание отчёта.

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Расшифровку обозначений приборов в соответствии с таблицей 2.
4. Таблицу характеристик измерительных механизмов различных систем (таблица 1).
5. Ответы на контрольные вопросы

## 5. Контрольные вопросы.

А) Расшифровать обозначения вольтметров ВЗ – 38, В7 – 26, В7 – 22.

Б) Расшифровать обозначения генераторов ГЗ – 106, Г4 – 107, Г5 – 54.

## Лабораторная работа №3

### Выполнение измерения электрических величин с помощью цифрового мультиметра.

#### Общие сведения

Напряжение и ток на участке цепи постоянного тока связаны **законом Ома**:

$$U = RI \text{ или } I = U/R,$$

где  $R$  – коэффициент пропорциональности между током и напряжением, называемый сопротивлением.

Мощность преобразования электрической энергии в другие виды энергии выражается через ток и напряжение (закон Джоуля-Ленца):

$$P = UI = RI^2 = U^2/R.$$

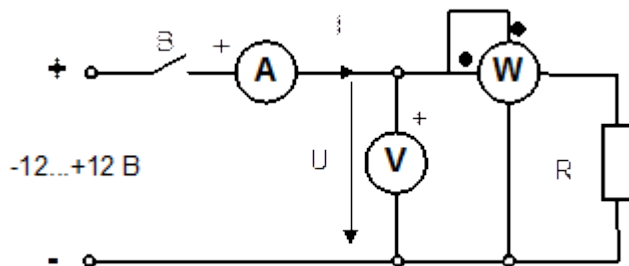
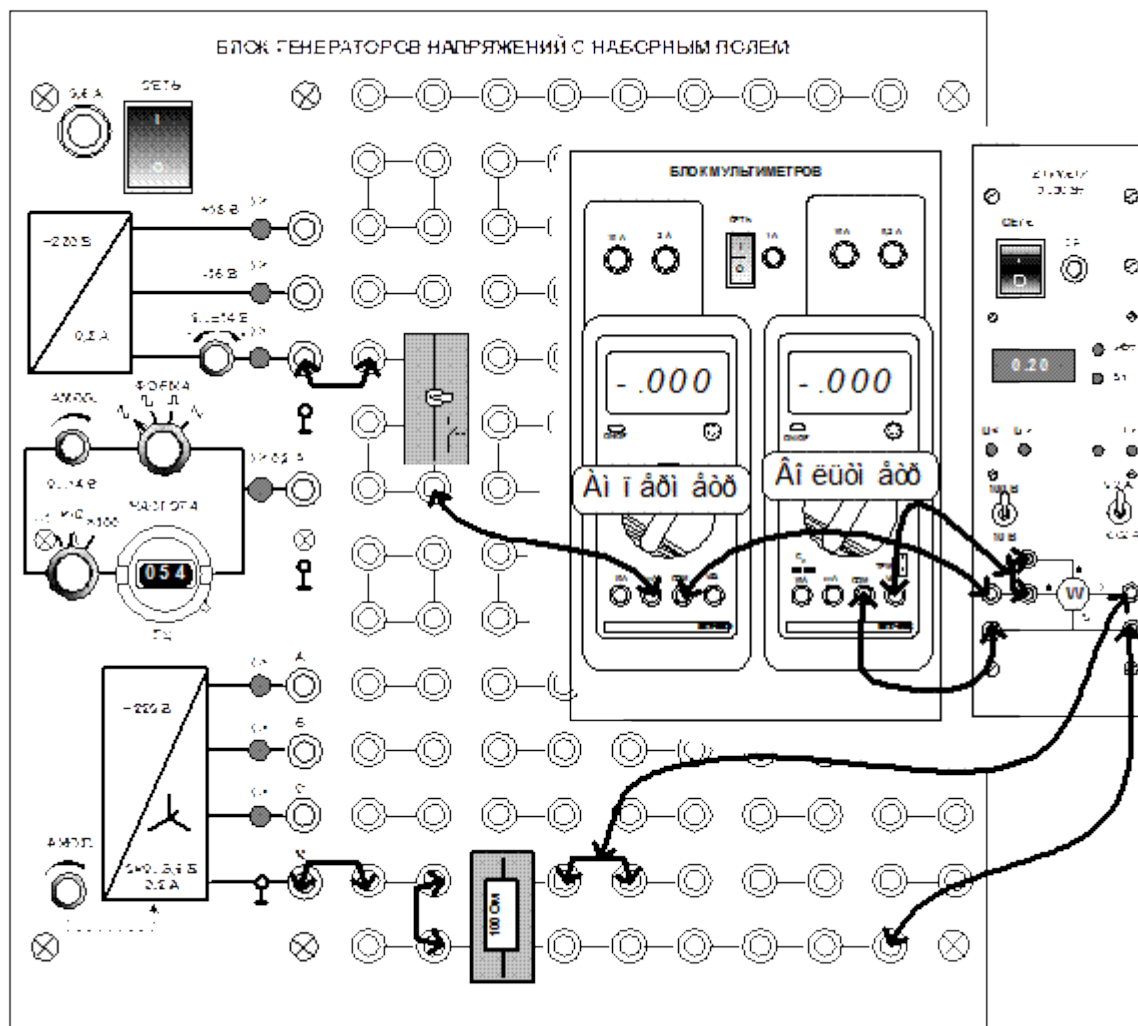


Рис.2.1

## Экспериментальная часть

1. **Цель работы:** научиться собирать электрическую цепь; пользоваться мультиметром для измерения сопротивлений, токов, напряжений и мощности в цепи постоянного тока; вести расчеты по исследуемой теме.



## 2. Приборы:

- Мультиметр для измерения тока;
- Мультиметр для измерения напряжения и сопротивления;
- Выключатель
- Резистор 100 Ом

## 3. Задание

- 1) Соберите цепь в соответствии с принципиальной схемой (рис.2.1) и монтажной схемой (рис. 2.2), установив в наборную панель сопротивление  $R_{ном}=100...1000$  Ом. Запишите значение сопротивления в табл.2.1.

Убедитесь, что при включении выключателя «В» в цепи появляется ток, а при выключении – исчезает.

- 2) Вычислите значения мощности  $P = UI$  и сопротивления  $R = U/I$  и запишите результаты в столбцы таблицы «Вычисленные значения». Сравните результаты измерений и вычислений.
- 3) Запишите показание мультиметра  $R_{\text{изм}}$  и номинальное сопротивление, указанное на этикетке миниблока:

$$R_{\text{изм}} = \dots\dots\dots \text{Ом}; R_{\text{ном}} = \dots\dots\dots \text{Ом}.$$

Вычислите относительное отклонение измеряемого сопротивления от номинального значения в % (относительную погрешность):

$$\Delta R\% = \frac{R_{\text{изм}} - R_{\text{ном}}}{R_{\text{ном}}} \times 100\% = \dots\dots\dots$$

- 4) Сделайте выводы.

## Лабораторная работа №

### Проверка однофазного индукционного счетчика

#### Основные теоретические положения

Проверку проводят в соответствии с ГОСТ 8.259-77 "Счетчики электрические активной и реактивной энергии индукционные. Методы и средства проверки".

**Проверка счетчика** - совокупность операций, выполненных в целях подтверждения соответствия счетчика метрологическим требованиям, т.е. его пригодность к применению. Согласно ГОСТ 6570-75 индукционные счетчики должны удовлетворять следующим техническим условиям :

- а) **внешний вид** должен соответствовать техническим требованиям (наличие монтажной схемы подключения, четко видны все надписи на циферблате и отметка на диске, стекло прочно приклеено и не имеет трещин, зажимная коробка не должна иметь повреждений, резьба и головки винтов подключения проводов должны быть исправны).
- б) при подключении напряжения только к параллельной цепи, и отсутствии тока в последовательной цепи счетчика подвижная часть счетчика должна оставаться неподвижной при напряжениях, лежащих в границах от 80 до 110 % от номинального, т.е. счетчик не должен иметь так называемого **самохода**. Он не должен вращаться, когда вся нагрузка отключена. Допускается вращение до одного оборота диска.
- в) счетчик должен идти без остановок при номинальных напряжениях, частоте и при нагрузке 0,5% номинальной для счетчика 1 класса и 1% для счетчика 2 класса. Этот ток называется **порогом чувствительности** счетчика.
- г) **относительные погрешности** показаний счетчиков при номинальной



температуре 20°C и номинальных напряжениях и частоте не должны превышать значений, указанных в таблице 1.

Проверка счетчика имеет целью выяснить насколько счетчик удовлетворяет вышеизложенным техническим условиям, для этого:

А. Определяют при разных нагрузках действительную постоянную счетчика (С), которая представляет собой количество энергии, (Вт·с) израсходованное из сети за время одного оборота счетчика, т. е.

$$C = \frac{Pt}{N} \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{обор.}}$$

Где  $P$  – мощность потребляемая нагрузкой, (Вт),  $t$  – время работы счетчика, (с)  $N$  – число оборотов диска за время  $t$ .

Таблица I

Cosφ	Нагрузка в % от номинальной	Допускаемая погрешность $\delta_d$ , %, для классов точности		
		1	2	2,5
1	5	±2.0	±2.5	-
	10	±1.0	±2.0	±3.5
	от 10 до 150	±1.0	-	-
	от 10 до 200	-	2.0	±2.5
0,5	10	± 2.0	±2.5	-
	от 20 до 150	±1.0	±2.0	±4.0

Б. По передаточному числу ( $A$ ) поверяемого счетчика, которая указана на его шкале, определяют номинальную  $C_n$  постоянную, физический смысл которой тот же, что и у  $C$  – но только она является нормированной величиной и предлагается заводом-изготовителем счетчика.

Передаточное число представлено в виде: 1 кВт·ч ==  $A$  оборотов диска т.е. если израсходовали 1 кВт·ч энергии, то диск должен совершить  $A$  оборотов, например, 2000 оборотов.

Для того чтобы найти номинальную постоянную, нужно 1 кВт·ч (предварительно переведенный в Вт·с) разделить на  $A$  оборотов, т. е.:

$$C_n = \frac{3600 \cdot 1000}{A}$$

В. Рассчитывают фактическую погрешность счетчика .

$$\delta = \frac{C_{\text{н}} - C}{C} \cdot 100\%$$

Г. Сравнивают фактическую погрешность  $\delta$  с допускаемой погрешностью  $\delta_d$ . Если  $\delta \leq \delta_d$ , то фактическая погрешность поверяемого счетчика соответствует метрологическим требованиям. Однако, чтобы счетчик был признан пригодным к применению необходимо соответствие всех метрологических характеристик: погрешность, внешний вид, самоход и порог чувствительности.

Если поверка счетчика дает результаты, не удовлетворяющие техническим условиям, то производится регулировка счетчика.

### **Практические указания и составление отчета**

1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией счетчика.
2. Ознакомиться с приборами, необходимыми для работы, записать в таблицу их характеристики.
3. Проверить возможность применения имеющейся аппаратуры в данной схеме (рис.1).
4. Собрать приборы по схеме (рис.1) и дать для проверки преподавателю.
5. Определить соответствие внешнего вида счетчика установленным требованиям.
6. Определить вращается ли счетчик при отсутствии нагрузки при напряжении 110% от номинального, т.е. самоход и сравнить с допустимым значением.
7. Измерить порог чувствительности счетчика и сравнить с допустимым значением. Для этого при номинальном напряжении на параллельной цепи счетчика, плавно увеличивая автотрансформатором Т ток нагрузки от 0, измеряют миллиамперметром РА ток (порог чувствительности) при котором диск начинает вращаться.
8. Заменить в схеме миллиамперметр на амперметр.
9. Определить постоянную счетчика при нагрузках 25%, 50%, 75%, 100% от номинальной при  $\cos \varphi = 1$ . Затем определить постоянную счетчика при нагрузках 25%, 50%, 75%, 100% от номинальной при  $\cos \varphi = 0,5$ . Номинальный ток нагрузки указан на циферблате.
10. Рассчитать погрешности счетчика при указанных нагрузках и сравнить с допустимым значением.
11. Построить графики погрешностей в зависимости от нагрузки:

а) при , т. е.  $\delta = f(I)$

б) при , т. е.  $\delta = f(I)$  см. рис.2.

Все измерения и расчеты занести в таблицу №2.

Таблица 2

№№	cosφ	U	I	I	P	t	N	C <sub>H</sub>	C	δ
		B	A	%	Bm	c	об	Вт·с/об	Вт·с/об	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Примечание:

Под таблицей привести пример расчета для одной нагрузки.

По номинальным данным счетчика подсчитать (перед проведением работы) величину тока в именованных единицах согласно инструкции, т. е. проценты перевести в амперы.

Вывод оформить в виде свидетельства о поверке или извещения о непригодности к применению

### **Контрольные вопросы.**

1. Устройство и принцип действия однофазного счетчика электрической энергии.
2. Вращающий момент индукционного измерительного механизма.
3. Почему индукционный счетчик измеряет только активную энергию (основные уравнения механических моментов в счетчике).
4. Основные моменты, действующие в однофазном счетчике электрической энергии. Векторная диаграмма напряжений и токов счетчика, /1/.
5. Причины возникновения самохода в счетчике и способы борьбы с ними.
6. Порог чувствительности, номинальная и действительная постоянные счетчика, погрешности и борьба с ними. Тормозной момент. /1/, /2/.

### **Лабораторная работа №**

#### **Изучение электронно-лучевого осциллографа. (ЭО-7 / СІ-1).**

#### **Определение временных характеристик сигнала**

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Знакомство с осциллографом и подготовка его к включению.

Градуировка вертикального участка осциллографа при различных условиях.

Измерение амплитудного значения напряжения на разомкнутых вторичных зажимах тр-ра тока.

Измерение угла сдвига фаз.

Определение частоты по форме фигур Лиссажу.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электронный осциллограф (осциллоскоп) –предназначен для наблюдения форм кривой исследуемого напряжения, а также может быть использован для измерения частоты, фазы напряжения, коротких промежутков времени и пр.

Принцип действия электронного осциллографа основан на использовании свойств электронно-лучевой трубки.

**ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА** (рис.1) представляет собой стеклянный баллон с тщательно откаченным воздухом с металлическими электродами.

Основными частями трубки являются:

- а) электронная пушка;
  - б) флуоресцирующий экран;
  - в) отклоняющие пластины.
- а) электронная пушка.

Электронная пушка создает поток электронов и формирует этот поток в электронный луч.

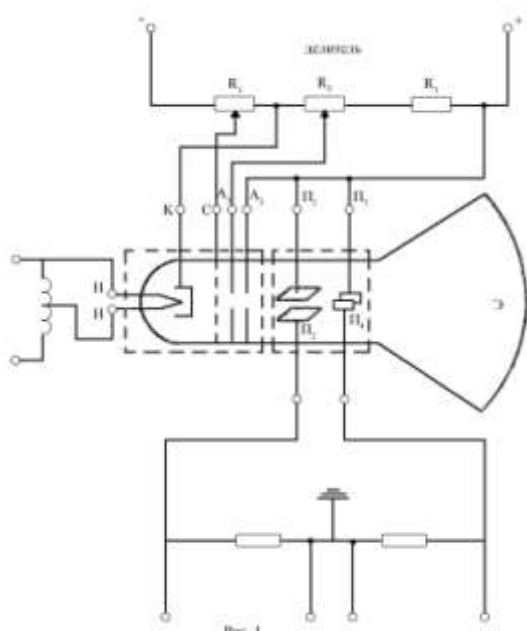


Рис. 1  
Схематическое устройство электронной-лучевой трубки

Электронный луч, состоящий из быстро летящих электронов, направляется на экран.

Основными деталями электронной пушки являются: нить накала, катод, управляющая сетка, первый и второй аноды. Нить накала Н-Н служит для подогрева катода К.

Катод К это небольшой металлический цилиндр, передний торец Т которого покрывается тонкой пленкой специального состава, хорошо имитирующего электроды при нагревании. На управляющую сетку подается отрицательный по отношению к катоду потенциал. При помощи это регулировки измеряется количество электронов в потоке, так как электроны имеют отрицательный заряд и отталкиваются сеткой обратно к катоду. Таким образом, меняется яркость пятна на экране. Конструктивно сетка представляет собой металлический цилиндр с отверстием для прохода электронов.

Первый и второй аноды А1 и А2 имеют положительный потенциал относительно катода. Потенциал А1 делается выше (от 600 до 20000 В), чем потенциал А2 (от 150 до 400 В). Конфигурация и взаимное расположение анодов подбирается таким образом, что электрическое поле, действующее на электроны, ускоряет их и собирает в тонкий луч. Действие электрического поля на поток электронов аналогично фокусированию светового потока оптической линзой.

б) флуоресцирующий экран.

Электронный пучок в конце своего пути попадает на внутреннюю сторону колбы, называемую экраном. Эта поверхность покрыта специальным составом (вольфрам окислый кальций, сернистый цинк и др.), обладающим свойством светиться под действием ударов электронов. В месте попадания электронов получается светящееся пятно. Сечение длится до тех пор, пока существует пучок. Иногда экраны имеют покрытие, которое светится некоторое время и после исчезновения пучка. Они называются экранами с длительным послесвечением.

в) отклоняющие пластины.

представляют собой две пары плоско параллельных пластин, расположенных взаимно перпендикулярно. Пластины одной пары П1 и П2 расположены горизонтально, пластины другой пары П3 и П4 – вертикально. Если к пластинам приложить некоторую разность потенциалов, то электронный луч, проходя между пластинами, попадает в их электрическое поле. Под воздействием этого поля траектория электронов изменяет свое положение. По существу, отклоняющие пластины представляют собой плоский конденсатор, к которому приложено некоторое напряжение. Зависимость отклонения электронного луча от приложенного напряжения может быть выведена с некоторым приближением на основании законов воздействия на отдельный электрон электрического поля, перпендикулярного к направлению движения электрона.

Вся работа между катодом и анодом при перемещении электрона превращается в кинетическую энергию. Таким образом, смещение пятна на

экране прямо пропорционально мгновенному значению приложенного напряжения. Практически возникают некоторые искажения за счет влияния краев пластин.

Первая пара пластин, расположенных горизонтально, отклоняет луч на экране в вертикальном направлении, вверх или вниз. Поэтому эти пластины называют «вертикальными», хотя сами они расположены в горизонтальных плоскостях. Вторая пара пластин, расположенных вертикально, смещает пятно на экране в горизонтальном направлении, вправо или влево. Эти пластины называют «горизонтальными».

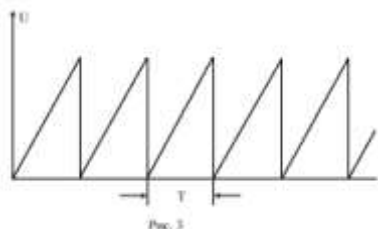
## **РАЗВЕРТКА КРИВЫХ ВО ВРЕМЕНИ. СИНХРОНИЗАЦИЯ**

Если в одну пару пластин (как правило, на электроды горизонтального отклонения) подают меняющееся линейно во времени, то светящееся пятно в этом случае будет перемещаться по экрану горизонтально с постоянной скоростью.

При подаче на другую пару пластин неизвестного напряжения электронный луч опишет на экране кривую этого напряжения.

Для создания горизонтального перемещения светящегося пятна применяют напряжение, которое периодически равномерно возрастает (или спадает) до некоторой определенной величины и затем за очень короткий промежуток возвращается к начальному значению.

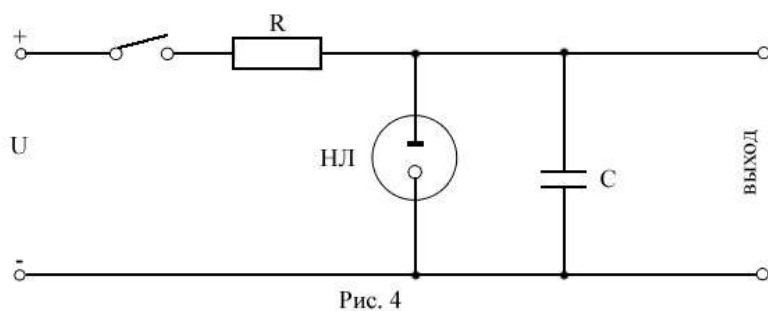
Наиболее удобную форму для этой цели имеет пилообразное напряжение (рис.3).



Если период пилообразного развертывающего напряжения равен периоду исследуемого напряжения, то на экране имеет место неподвижное изображение, соответствующее одному периоду исследуемого напряжения. Если период развертывающего напряжения в  $n$  раз больше периода исследуемого напряжения, то на экране появится кривая, соответствующая  $n$  периодам исследуемого напряжения.

Блок электронного осциллографа, служащий для создания такого вспомогательного напряжения, обычно называют блоком развертки. Он состоит из генератора развертывающего напряжения и усилителя.

Схема простейшего генератора развертки приведена на рис.4.



Здесь НЛ – лампа тлеющего разряда, например, неоновая. Важными характеристиками неоновой лампы являются напряжение зажигания  $U_z$  и напряжение потухания  $U_n$ . Если плавно увеличивать напряжение на зажимах лампы, то при напряжениях, меньше  $U_z$ , лампа практически не проводит ток, представляя собой очень большое сопротивление. При напряжении лампы зажигается, ее сопротивление сразу резко падает. Если теперь напряжение на зажимах лампы уменьшить, то при некотором напряжении  $U_n$  меньшем, чем лампы, лампа вновь становится непроводящей. Напряжение зажигания и потухания зависит от конструкции лампы, вида и давления наполняющего газа. Рассмотрим, как будет меняться напряжение  $U_c$  на конденсаторе C в схеме (рис.4). При замыкании ключа конденсатор начинает заряжаться от источника питания через сопротивление R. Причем напряжение растет по экспоненциальному закону, вначале близкому к линейному, и тем быстрее, чем меньше сопротивление R и емкость C. Когда напряжение достигает величины равно  $U_z$ , лампа зажигается, сопротивление ее становится очень небольшим, конденсатор через это малое сопротивление лампы разряжается чрезвычайно быстро, и напряжение на нем  $U_c$  при этом падает до значения  $U_n$ . При этом лампа затухает и опять становится практически непроводящей. В результате этого конденсатор вновь начинает заряжаться от источника питания и весь процесс повторяется снова. Таким образом, возникает периодически изменяющееся напряжение, форма кривой которого имеет «пилообразный» вид

Изменением емкости C (обычно ступенями) и сопротивления (обычно плавным) можно регулировать время заряда конденсатора, а, следовательно, (при  $t_2 \ll t_1$ ) и чистоту развертки. Если добиться того, что продолжительность одного периода развертывающего напряжения ( $T = t_2 + t_1$ ) будет равна периоду исследуемого напряжения, то на экране появится неподвижная кривая, соответствующая одному периоду напряжения.

Схемы реальных генераторов развертки значительно сложнее, причем обычно используют не неоновую лампу, а триатроны или электронные лампы. Генераторы развертки с применением электронных ламп обеспечивают лучшую стабильность, расширяют диапазон частот и развертки и улучшают линейность пилообразного напряжения по сравнению с генератором развертки, работающим на неоновых лампах.

Синхронизация осуществляется по отношению к напряжению сети (когда частота исследуемого напряжения равна или кратна частоте сети) или какого-либо внешнего источника (в специальных случаях).

### ФИГУРЫ ЛИССАЖУ

Если переменное напряжение приложить одновременно к обоим парам отклоняющих пластин, то электронный луч под действием двух взаимно перпендикулярных полей будет прочерчивать на экране некоторую сложную кривую. Форма получаемой сложной кривой зависит от формы кривых, сдвига фаз и отношению амплитуд и частот напряжений, приложенных к пластинам. При отношении частот, выражающемся рациональным числом, результирующая кривая замкнута и представляется на экране в виде неподвижного изображения. Все эти результирующие кривые носят название фигур Лиссажу. На рис.6 показаны фигуры Лиссажу для нескольких простых случаев соотношения частот и углов сдвига фаз.

Для двух синусоидальных напряжений, совпадающих по фазе и имеющих одинаковую частоту и амплитуду при одинаковой чувствительности осциллографа по вертикальной и горизонтальной схеме, наблюдаемая фигура изображается прямой линией, составляющей с горизонтальной осью угол  $45^\circ$ .

В случае неравенства амплитуд угол наклона прямой приобретает другие значения, лежащие в пределах от  $0$  до  $90^\circ$ . При наличии сдвига фаз напряжениями на экране появляется эллипс, который расширяется с увеличением сдвига фаз и превращается в окружность, когда угол становится равным.

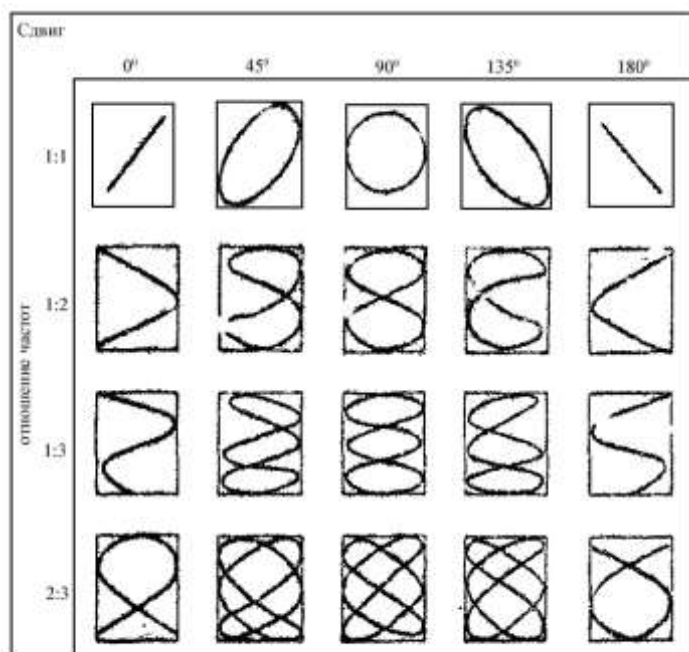


Рис. 6



Фигуры Лиссажу для разного соотношения частот и различных  $\varphi$ .

## УСИЛИТЕЛИ

Для повышения чувствительности электронные осциллографы обычно имеют два усилителя. Один усиливает исследуемое напряжение. Так как это напряжение подается на пластины, смещающие луч в вертикальном направлении, то этот усилитель называется вертикальным усилителем. Второй усилитель усиливает напряжение, подаваемое на «горизонтальные» пластины» и называется горизонтальным усилителем.

## БЛОК ПИТАНИЯ

Для работы электронно-лучевой трубки требуется довольно высокое постоянное напряжение. Назначение блока питания заключается в обеспечении осциллоскопа постоянным напряжением требуемой величины.

Напряжение на сетке всегда отрицательно и имеет величину порядка нескольких десятков вольт.

Двигатель напряжения R1 (рис.1) служит для управления яркостью пятна, двигатель напряжения R2 позволяет управлять фокусировкой.

## БЛОК-СХЕМА ОСЦИЛЛОГРАФА С1-1 (ЭО-7)

Блок-схема осциллографа С1-1 дана на рис.7.

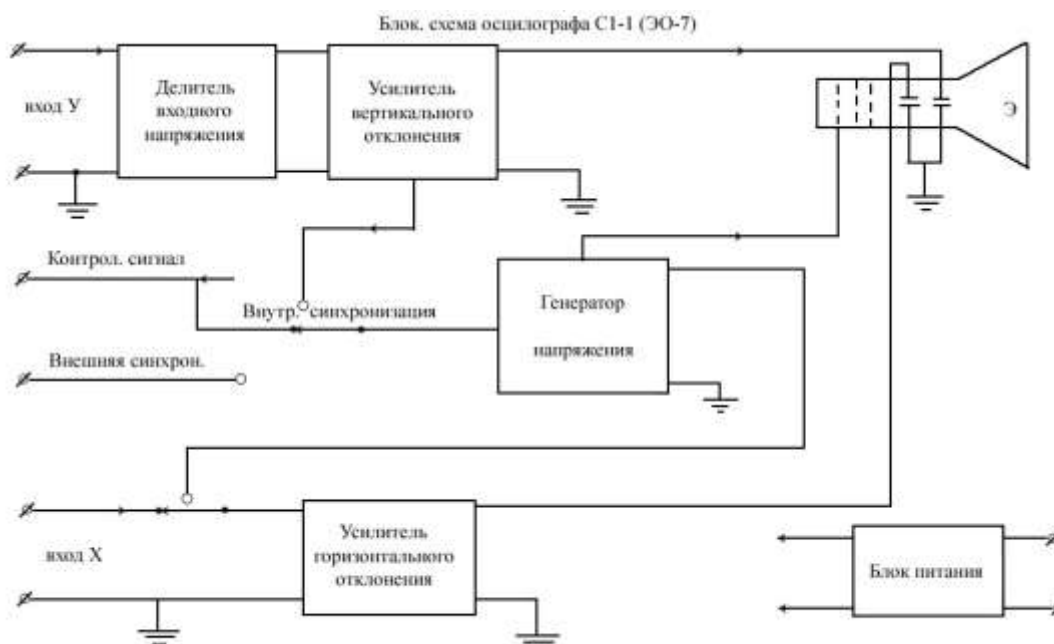


Рис. 7

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Тип трубки 13ЛО037.
2. Диапазон непрерывной развертки 2 Гц -50 кГц.
3. Развертка непрерывная.
4. Чувствительность усилителя вертикального отклонения 0,25 см/мВ (коэффициент усилителя  $180^\circ$ ).
5. Чувствительность усилителя горизонтального отклонения 4,5 см/мВ (коэффициент усилителя  $35^\circ$ ).
6. Входное сопротивление горизонтального усилителя 2 мгом  $\pm 20\%$  параллельно с емкостью не более 30 пар.
7. Входное сопротивление горизонтального усилителя 5 мгом  $20\%$  параллельно с емкостью не более 30 пар.
8. Коэффициент ослабления входного аттенюата: 1; 1,1; 10,1; 100.
9. В приборе имеется 3 вида синхронизации: внешняя, внутренняя и от сети.
10. Питание от сети переменного тока напряжением 115, 127, 220 В при частоте питающего напряжения 50 Гц.
11. Может работать непрерывно в течение 8 часов.
12. Работает в диапазоне температур от  $+10^\circ \text{C}$  до  $+30^\circ \text{C}$ .

### Примечание

Входное сопротивление осциллографа достаточно велико, чтобы можно было пренебречь искажением режима в большинстве исследуемых цепей.

Чувствительностью осциллоскопа по напряжению называют отношение перемещения светящейся точки на экране к величине напряжения, вызывающего это перемещение. Можно рассчитать чувствительность по вертикальному и горизонтальному направлению в зависимости от того, на какие пластины попало напряжение. Кроме того, различаются чувствительность трубки (при подаче напряжения непосредственно на пластины) и чувствительность электронного осциллоскопа в целом при работе через усилители. Очевидно, что вторая величина зависит от чувствительности по напряжению трубки и коэффициента усилителя.

$$S = \frac{a}{2\sqrt{2}U} \quad (7)$$

Практически чувствительность определяется

где

S – чувствительность

U – действующее значение, синусоидального напряжения

a – расстояние по вертикали между точками, соответствующими амплитудным значениям синусоиды, получающиеся на экране, мм.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ЭО-7**

При помощи ЭО-7 можно производить следующие исследования:

1. Измерение угла сдвига фаз между двумя синусоидальными напряжениями.
2. Исследование формы периодических колебаний и импульсов длительностью не менее 25 мкс.
3. Измерение частоты.
4. Измерение напряжения.
5. Измерение коэффициента модуляции.
6. Магнитные измерения.

При помощи специальных приставок осциллограф позволяет измерить мощность, омическое сопротивление, полное сопротивление и добротность контуров, исследовать резонансные кривые контуров, характеристики элементарных ламп и др. электрические характеристики.

### **ЗАДАНИЕ**

1. Ознакомиться с осциллоскопом и подготовить его к включению.
2. Проградуировать вертикальный усилитель осциллоскопа при различных условиях. Построить градуировочную кривую.
3. Измерить амплитудное значение напряжения на разомкнутых вторичных зажимах трансформатора тока при номинальном переменном токе ( $I=2$  А). Измерить среднее значение этого напряжения с помощью выпрямительного вольтметра.
4. Измерить составляющие комплексного сопротивления катушки индуктивности на частоте 1000 Гц.
5. Проверить в нескольких точках (для частот 25-250 Гц) градуировку шкалы звукового генератора, используя в качестве образцовой частоты сети, измеряемую стрелочным частотомером.

### **Подготовка к включению**

Общее питание осциллографа идёт от сети переменного тока промышленной частоты напряжением 220 или 127 В.

В данной работе силовой трансформатор включен на 220 В.

Перед включением осциллоскопа его рукоятки должны быть установлены в следующих положения (рис.8)

- а) рукоятка регулятора усиления пятна («яркость») повернута против часовой стрелки до упора;
- б) рукоятка регулятора усиления вертикального (левого) усилителя («усиление») в положение 0;
- в) переключатель синхронизации в позиции «внутр.»;

- г) рукоятка регулировки синхронизации («амплитуда синхронизации») повернута против часовой стрелки до упора;
- д) переключатель горизонтальной развертки в любом включенном положении.

После проверки правильности положения всех рукояток вилка питания включается в сеть 220 В и включается переключатель «сеть». При этом происходит включение питающего трансформатора, что видно по зажиганию сигнальной лампочки.

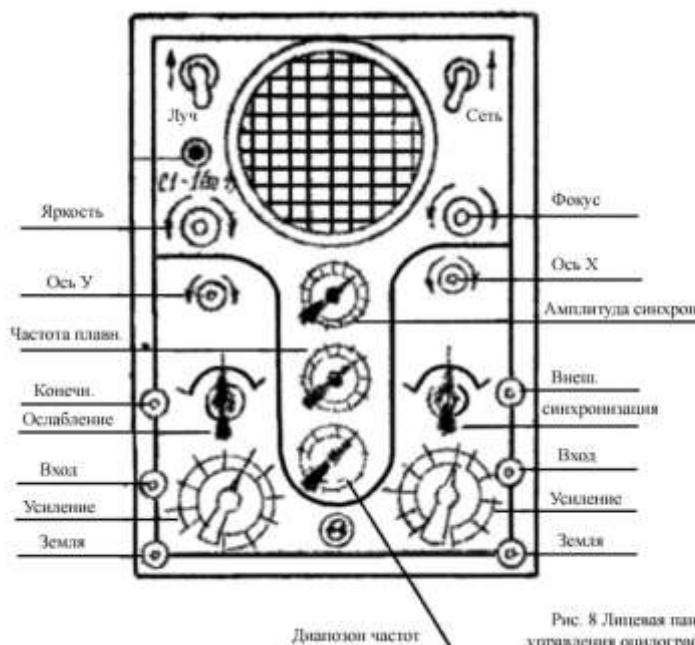
## **РЕГУЛИРОВКА ЯРКОСТИ И ФОКУСИРОВКА**

Выждав 1-2 минуты для подогрева ламп осциллоскопа, включают включатель «луч» и поворотом рукоятки «яркость» вправо добиваются необходимой яркости пятна. При этом изменяется отрицательный потенциал на сетке С (рис.1) и регулируется интенсивность электрического луча.

Вращением рукоятки «фокус» устанавливается необходимая резкость светящейся линии (на экране получается линия, а не точка, так как уже включен генератор развертки). Фокусировка сводится к регулировке потенциала на первом аноде.

Регулировка «яркость» и «фокус» взаимосвязаны, потому для получения нормального изображения необходимо производить их совместно (поочередно).

## **ВЕРТИКАЛЬНАЯ И ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ЛУЧА.**



Регулировка усиления

Рукоятка «ось У вниз вверх» и ось Х влево вправо» служат для смещения светящейся точки по вертикали и горизонтали таким образом, чтобы «нулевая» линия (линия, получающаяся при отсутствии сигнала) находилась в желательном месте экрана – обычно посередине. Это осуществляется подачей на соответствующие пластины некоторых постоянных регулируемых напряжений.

После установки линии развертки в нужном месте рукояткой «усиления» правого (горизонтального) усилителя устанавливается желательная длина развертки путем изменения амплитуды пилообразного напряжения.

После изменения исследуемого напряжения (сигнала) на левые зажимы «вход» и «земля» поворотом рукоятки «усиление» левого усилителя устанавливается необходимая величина изображения так, чтобы изображение не выходило за пределы экрана и было удобно для наблюдения (для ЭО-7 60-80мм).

### **Регулировка частоты развертки. Синхронизация.**

Ступенчатое изменение частоты развертывающего напряжения осуществляется с помощью переключателя «диапазон частот». В осциллокопе ЭО-7 имеется 7 диапазонов от 2 Гц до 50 кГц.

Плавная регулировка внутри каждого диапазона достигается вращением рукоятки «частота плавно».

После установки с помощью переключателя подходящего диапазона частот плавным поворотом рукоятки «частота плавно» добиваются того, чтобы кривые на экране не были неподвижны или перемещались достаточно медленно (что будет иметь место при более или менее точном совпадении или кратности частот исследуемого и развертывающего напряжения). Для получения устойчивости неподвижного изображения постепенно вводится синхронизирующее напряжение путем поворота рукоятки «амплитуда синхронизацией» по часовой стрелке.

Градуировка осциллоскопа сводится к определению его чувствительности или цены деления сетки, имеющейся на экране. При определенном положении рукоятки «верт. усиление» практически можно считать цену деления независимой от величины луча.

Устанавливая рукоятку осциллографа «верт. усиление» в положение, при котором желательно произвести градуировку, подбирают R2 таким (увеличивая его от нуля), чтобы величина изображения, получающегося на экране, была порядка 60-80 мм по вертикали.

Отсчитав напряжение  $U$  по вольтметру, можно, зная  $R_1$  и  $R_2$  определить напряжение, подведенное к зажимам по формуле

$$U = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Расчет чувствительности производится по формуле (7). Чувствительность следует определить при ослаблении 100 и 4 положения рукоятки «верт. усиление» (1, 3, 6 и 10).

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу №1.

Таблица №1.

N		1	2	3	6	10
$R_2$	Ом					
U	В					
S	Мм/В					

Здесь

S – чувствительность;

N – число на шкале рукоятки «верт. усиление», на котором стоит указатель рукоятки.

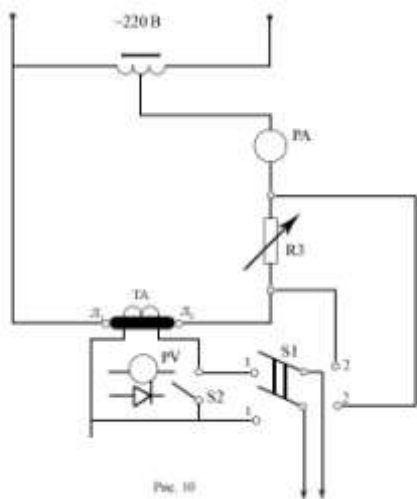
При построении градуировочной  $S=f(N)$  следует N откладывать по оси абсцисс, а S – по оси ординат.

Как известно, вторичные зажимы трансформаторов тока при нормальной работе замкнуты на сопротивление порядка десятых долей Ома. Если при случайном размыкании вторичной цепи, что является аварийным режимом для трансформатора тока, ток в первичной цепи трансформатора будет близок к своему номинальному значению, то напряжение на разомкнутых вторичных зажимах резко повысится. В некоторых жилах трансформаторного тока напряжение на разомкнутых зажимах вторичной обмотки при протекании по его первичной обмотке номинального тока может достигать значительной величины, опасной для обслуживающего персонала, а также для изоляции обмоток.

Так как кривая этого напряжения ввиду насыщения сердечника имеет сильно заостренную форму и максимальное значение напряжения превышает его действующее значение значительно больше, чем в  $\sqrt{2}$  раза, то измерение его с помощью обычных вольтметров, показывающих действующее значение, не дает представление о действительном максимальном значении. Определение последнего может быть произведено с помощью электронного осциллографа.

В настоящей работе проградуированный осциллограф используется для измерения максимального значения напряжения на вторичной обмотке тр-ра тока при разомкнутых вторичных зажимах. Ток, протекающий при этом по первичной обмотке, равен номинальному ( $I=2A$ )

Измерение производится по схеме рис.10 /переключатель  $S1$  находится в положении 1/.



Для наблюдения формы кривой первичного тока можно использовать имеющееся в схеме активное сопротивление  $R3$  /при этом переключатель  $S1$  переводится в положение 2/.

Нормальный режим тр-ра тока получается замыканием ключа  $S2$ . При замыкании ключа будет иметь резкий бросок током, во избежание чего перед замыканием ключа необходимо установить минимальное значение первичного тока.

Наблюдаемые кривые тока и напряжения зарисовать в отчет.

Измерить среднее значение напряжения на разомкнутых вторичных зажимах тр-ра тока. Сравнить полученные значения напряжения.

4. Измерение составляющих комплексного сопротивления производится по схеме рис.11.

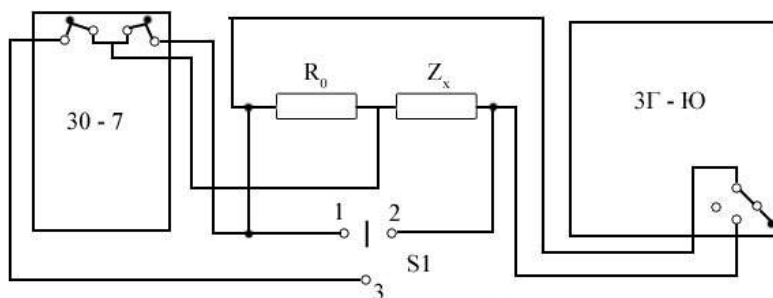


Рис. 11

Напряжение, подаваемое от звукового генератора на схему, не должно превышать 10-15 в. Последовательность операций следующая:

а) В начале на обе пары пластин осциллографа /клеммы на задней панели/ подается падение напряжения на образцовом сопротивлении  $R_0=1000 \text{ Ом}$  /переключатель S1 в положении 1/. На экране получается прямая линия. Усиление вертикального усилителя регулируется до тех пор пока вертикальная проекция прямой не будет равна 10 делениям сетки, надетой на экране осциллографа /при отсутствии усиления луч должен находиться в центре сетки/.

Размер горизонтальной проекции прямой не имеет существенного значения, выбирается исходя из удобства наблюдения изображения.

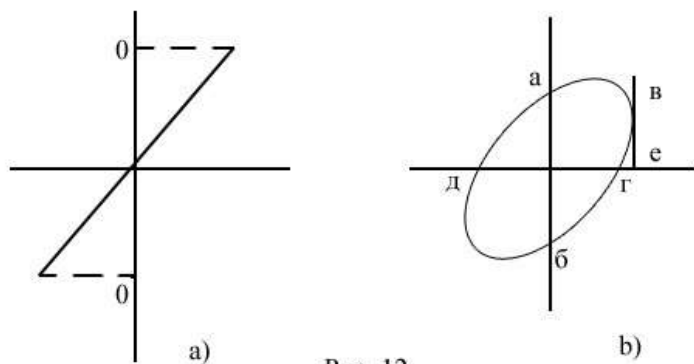


Рис. 12

б) Затем на пластины, отклоняющие луч, в вертикальном направлении подается падение напряжения на зажимах исследуемого комплексного сопротивления /переключатель в положении 2/.

Напряжение, подаваемое соответственно на горизонтальные и вертикальные

$U_b$

пластины  $U_r$ ,  $U_r$  и  $U_b$  можно выразить следующим образом:

$$U_b = I_n R_0 \sin \omega t; \quad U_b = U_n \sin(\omega t + \varphi);$$

при  $\omega t = 0$   $\omega t = 0$

$$U_r = 0 \quad U_r = 0$$

$$U_b = U_r \sin \varphi = IZ \sin \varphi = IX \quad U_b = U_r \sin \varphi = IZ \sin \varphi = IX$$

при  $\omega t = \frac{\pi}{2}$   $\omega t = \frac{\pi}{2}$



$$U_b = U_r \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) = IZ \cos \varphi = ZR \quad U_b = U_r \left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) = IZ \cos \varphi = ZR$$

Следовательно, расстояние между точками а-б пересечения эллипса с осью ординат /см. рис.12-б/ дает величину искомого реактивного сопротивления в определенном масштабе /10 делений сетки соответствуют 1000 Ом/.

Удвоенная величина отрезка касательной в-г проведенная к эллипсу в точке максимального горизонтального смещения луча, дает в том же масштабе активную составляющую комплексного сопротивления,

Определить угол сдвига фаз между напряжениями, приложенным к вертикальной и горизонтальной пластинам,

5. Если на две пары пластин подавать напряжение разных частот, одна из которых известная, и, если отношение частот равно целому числу, то на экране получаются неподвижные фигуры, по форме которых можно разделить частоту /см., фигуры Лиссажу, рис.6/.

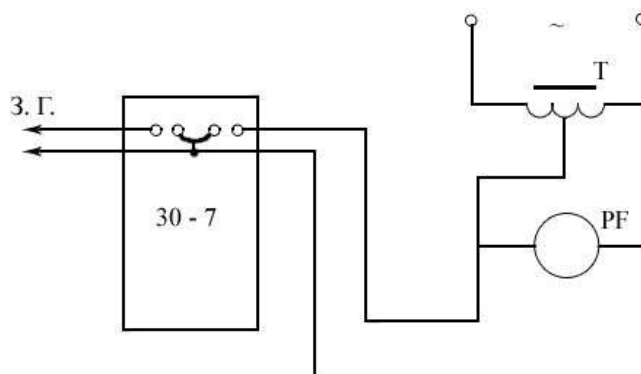


Рис. 13

Проверить шкалу звукового генератора в точках 25, 50, 100, 150, 200 и 250 Гц.

Правило определения отношения частот по форме неподвижной фигуры Лиссажу следующее:

если провести к фигуре горизонтальную и вертикальную касательные, то число точек касания с первой из них N1, к числу точек касания со второй N2, равно отношению частот.

Таким образом, получая фигуру Лиссажу путем регулировки частоты, отсчитывается по стрелочному частотомеру или применяется равной стандартной частоте сети – 50 Гц.

Далее подсчитывается погрешность градуировки шкалы звукового генератора,

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу №2.

Таблица №2

$f_{\text{шк.}} \approx$	25	50	100	150	200	250
$\frac{N}{N_x} = \frac{f_u}{f_x}$						
Расчет по фигуре Лиссажу $\alpha$ $\alpha$ действ.						
Отчет по шкале $f_{\text{шк.}}$						
$I_f$						

### Контрольные вопросы

1. Устройство электронно-лучевой трубки и схема ее включения.
2. От чего зависит отклонение луча на экране осциллографа? (вывод ф-лы)
3. Как производится регулировка яркости и фокусировка луча?
4. Схема и работа простейшего генератора развертки.
5. Чувствительность электронного осциллографа. Измерение осциллографом напряжения.
6. Измерение частоты и других параметров электрических цепей с помощью осциллографа.
7. Каково назначение электронной пушки и блока развертки? Назначение усилителей в осциллографе.
8. Использование электронных осциллографов в магнитных измерениях.

### Лабораторная работа №

### Испытание измерительного трансформатора тока и трансформатора напряжения

#### Основные теоретические положения

Точность работы измерительного трансформатора зависит от погрешности в коэффициенте трансформации и от его угловой погрешности. Угловой погрешностью трансформатора называется угол сдвига фаз между вектором первичного тока (напряжения) и обратным направлением вектора вторичного тока (напряжения). Неточный коэффициент трансформации и угловая погрешность дают неточный подсчет первичного тока.

Например, ваттметр, включенный через измерительный трансформатор с угловой погрешностью  $\delta < 0$ ,  $\delta < 0$ , покажет мощность  $P' = UI \cos(\varphi \pm \delta)$  большую, чем на самом деле  $P = UI \cos \varphi$   $P = UI \cos \varphi$

В конечном счете угловая погрешность влияет на погрешность в коэффициенте трансформации. Из-за этих погрешностей у трансформатора приходится различать номинальный ( $K_n$ ) и действительный ( $K_d$ ) коэффициенты трансформации.

Под номинальным коэффициентом трансформации принято понимать отношение номинального тока (напряжения) первичной обмотки  $I_{H1}$  к номинальному току (напряжению) вторичной обмотки  $I_{H2}$ . Эти отношения отмечаются на трансформаторах, например в таком виде: 100/5А; 6000/100 В.

$K_n = \frac{I_{H1}}{I_{H2}}$  Действительный коэффициент трансформации равен отношению фактических токов первичности  $I_1$  и вторичной обмоток  $I_2$ ,

$K_d = \frac{I_1}{I_2}$  Отношение абсолютной погрешности  $(K_n K_n - K_d K_d) K_n - K_d$  к действительному коэффициенту трансформации, выраженное в % называется относительной погрешностью:

$f = \frac{K_n - K_d}{K_d} \cdot 100$  Поправочным коэффициентом называется отношение:

$\frac{K_d}{K_n} = C$  Действительный коэффициент трансформации измерительного трансформатора любого рода тем больше отличается от соотношения чисел витков его обмоток ( $\omega_1$  и  $\omega_2$   $\omega_1$  и  $\omega_2$ ), чем больше сдвиг по фазе между током и ЭДС в его вторичной цепи.

Следовательно, погрешность трансформации зависит от величины и характера сопротивления приборов включенных во вторичную цепь.

Определение правильности обозначения начал и концов обмоток измерительных трансформаторов необходима по следующим соображениям. Основным требованием для правильного включения измерительных приборов (ваттметров в счетчиков энергии) через измерительные трансформаторы является следующее: ток в измерительном приборе, включенном через измерительный трансформатор, должен иметь то же самое направление, что и при непосредственном включении прибора в измеряемую цепь.

Для соблюдения этого требования выводы обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения обычно размечаются соответственно буквами Л<sub>1</sub>, Л<sub>2</sub> или А, Х для первичной обмотки, и буквами n<sub>1</sub> и n<sub>2</sub>, q и x и u<sub>1</sub> и u<sub>2</sub> или а и х для вторичной обмотки, каковыми отметками и надо руководствоваться при включении этих приборов в схему и подключения к ним приборов.

Наиболее простым способом разметки зажимов, т.е. опытного определения соответствующих друг другу зажимов, у измерительного трансформатора является способом баллистического толчка. Он выполняется по схеме рис.1, где PV1 и PV2 вольтметры-магнитоэлектрической системы на небольшое напряжение:

1. ТА - измерительный трансформатор, первичная обмотка которого включается на делитель напряжения R, замкнутый полностью на аккумулятор. Если трансформатор включен так, как отмечено на рис. буквами n<sub>1</sub> и n<sub>2</sub>, Л<sub>1</sub> и Л<sub>2</sub> и u<sub>1</sub> и u<sub>2</sub>, Л<sub>1</sub> и Л<sub>2</sub>, то при замыкании ключа, SA стрелка вольтметра должна отклоняться от нуля шкалы вправо.
2. Для определения действительного коэффициента трансформации путем непосредственного измерения первичных и вторичных токов или напряжений собирают схему рис.2 для трансформатора тока и схему рис.3 для трансформатора напряжения.
3. Приборы (амперметры и вольтметры), которыми пользуются при измерениях, должны быть достаточно точными.
4. Сам опыт сводится к постепенному измерению первичного тока (или напряжения) к одновременному отсчету показаний приборов.
5. Полученные данные заносят в таблицу 1, по данным которой подсчитывают действительный коэффициент трансформации, а также поправочный коэффициент трансформации.

№	Данные наблюдений			Подсчитано		
	U <sub>1</sub> U <sub>1</sub> или I <sub>1</sub>	U <sub>2</sub> или I <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	$K_{HV} = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$ или для коэф. тр- рации тр-ра тока $K'_{H\theta} = \frac{I_{1H}}{I_{2H}}$	$K_g = \frac{U_1}{U_2}$ $K_\theta = \frac{U_1}{U_2}$ или для тр-ра тока $K_g = I_1/I_2$ $K'_\theta = \frac{I_1}{I_2}$	Поправочный коэф. $C = \frac{K_\theta}{K_H}$ $C_H = \frac{K_g}{K_H}$	Абс. Погрешность $\Delta \pm (K_H - K_g)$ $\Delta \pm (K_H - K_\theta)$
	А	А				В или А
1	2	3	4	5	6	7

6. По полученным данным построить кривые зависимости поправочного коэффициента ( $C$ ) и относительной погрешности  $f$  в зависимости от вторичного тока трансформатора  $I_2$ , выраженного в процентах или от нагрузки вторичной цепи (вольтметров) в процентах номинальной мощности (нагрузки).
7. Следует также выяснить, какое влияние на действительный коэффициент трансформации оказывает нагрузка его вторичной цепи. Для этого при испытании трансформатора тока вводят последовательно с амперметром  $PA2$  сопротивление примерно равное сопротивлению амперметра и опыт повторяют. Так делают несколько раз для различных сопротивлений  $R_2'$ ,  $R_2''$ ,  $R_2'''$ . При испытании трансформаторов напряжения подключают сопротивления, равное сопротивлениям вольтметра и опыт повторяют. Так делают несколько раз при различных сопротивлениях.
8. Вместо сопротивлений можно использовать несколько амперметров, соединенных последовательно или несколько вольтметров, соединенных параллельно. Кривые погрешностей даны на рис.4 и 5.

### Практические указания

Для выполнения первого пункта плана необходимо собрать схему рис.1.

Для выполнения второго пункта плана необходимо собрать схему рис.3.

Действительный коэффициент трансформации трансформатора определить при различных нагрузках его вторичной обмотки, для чего в начале определить действительный коэффициент трансформации при нагрузке во вторичной цепи от одного амперметра, а затем от 2-х амперметров и далее от 3-х амперметров /включенных во вторичную цепь трансформатора тока/.

Перед началом работы ознакомится с приборами и трансформаторами, необходимыми для работы. Записать их номинальные величины, системы, классы, точности, завод изготовитель, заводские номера и т.д.

Собрав схему, обязательно дать её на проверку руководителю, а затем перед разборкой дать на подпись руководителю протокол лаб. работы.

В отчете дать:

- кривые погрешностей:

а) в зависимости от тока  $f=f(I_2)$ , при  $R_2' = const$   $R_2'' = const$ , затем при  $R_2' = const$   $R_2''' = const$  и далее при

$R_2'' = const$   $R_2'''' = const$ ; (3 кривые), рис. 4.

б) в зависимости от сопротивления (нагрузки) вторичной цепи

$$f = f(R_2, R_2) \text{ при } I_2 = \text{const } I_2 = \text{const}$$

- кривые зависимости поправочного коэффициента от вторичного тока  $C_{\text{non}} = f(I_2)$   $C_{\text{non}} = f(I_2)$  при , затем при и далее при

Аналогично для трансформатора напряжения.

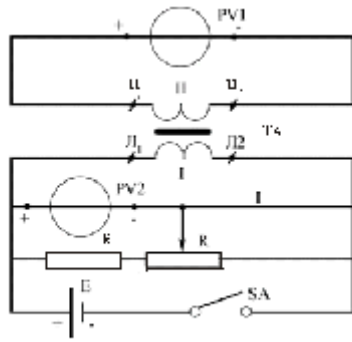


Рис. 1

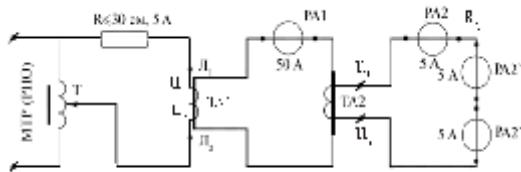


Рис. 2

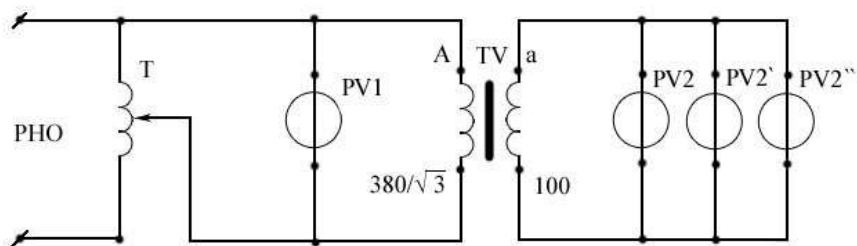


Рис. 3

Погрешность напряжения трансформатора напряжения

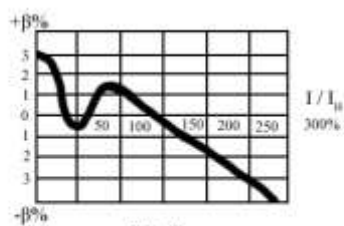


Рис. 2

Нагрузочная характеристика однофазного четчика класса 2,5

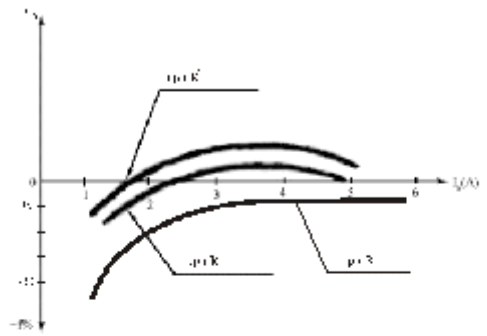


Рис. 4

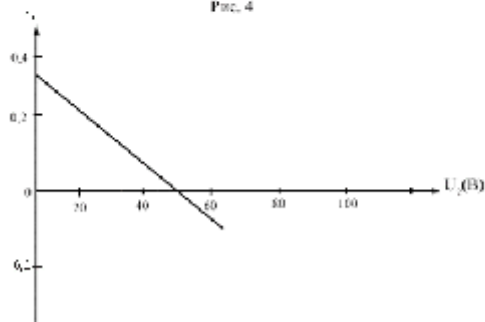


Рис. 5

## Лабораторная работа

### Выполнение измерения силы тока, напряжения и мощности приборами разных систем.

#### Основные теоретические положения

В соответствии с разнообразием измеряемых значений сопротивлений разнообразны и методы их измерений. С точки зрения методов целесообразно разделить все сопротивления на 4 группы:

- а) малые сопротивления (от 1-го Ома и меньше);
- б) среднее сопротивление (от 1-го до 100000 Ом);
- в) большие сопротивления (от 100000 до  $10^8$  Ом);
- г) весьма большие сопротивления - сопротивления изоляционных материалов (от  $10^8$  до  $10^{15}$  Ом)

1. Метод амперметра и вольтметра вытекает непосредственно из закона Ома. Измерение активных сопротивлений производят на постоянном токе

Зная падение напряжения на измеряемом сопротивлении ( $U_x$ ) и ток  $I_x$ ,

протекающий через него, можно вычислить величину активного

сопротивления по формуле:

$$r_x = \frac{U_x}{I_x}$$

Измерение пассивного сопротивления выполняется на переменном токе

частотой  $f$ . Модуль полного сопротивления определится как  $|Z_x| = \frac{U_x}{I_x}$

Включение приборов для измерения тока и напряжения осуществляют по одной, из двух возможных схем, приведенных на рис.1 и рис.2.

В первой схеме рис.1 вольтметр учитывает не только падение напряжения  $U_x$  на измеренном сопротивлении, но и падение напряжения  $U_A$  на амперметре. Следовательно, показания вольтметра равно

$$U = U_x + U_A \quad U = U_x + U_A$$

Показание амперметра  $I$  равно току  $I_x$  в измеряемом сопротивлении, и включены последовательно, т.е.  $I = I_x$ . Если воспользоваться показаниями приборов для определения измеряемого сопротивления, то получится, величина:

$$r'_x = \frac{U}{I} = \frac{U_x + U_A}{I_x} = \frac{U_x}{I_x} + \frac{U_A}{I_x} = r_x + r_A,$$

где  $r_A$  - сопротивление амперметра.

Принимая величину  $r'_x$  за искомое сопротивление  $r_x$  мы допускаем погрешность:

Абсолютную  $\Delta r = r'_x - r_x = r_A$

и относительную  $\delta = \frac{r'_x - r_x}{r_x} \cdot 100 = \frac{r_A}{r_x} \cdot 100(1)$

Сопротивление получается большего значения чем действительное значение. Действительное значение измеряемого сопротивления равно

$$r_x = r'_x - r_A = \frac{U}{I} - r_A$$

В схеме рис.2 амперметр учитывает сумму токов  $I_A = I_x + I_B$   $I = I_v + I_x$ , протекающих по измеряемому сопротивлению и вольтметру, а вольтметр показывает напряжение  $U_x$  равное напряжению  $U_x$  на измеряемом



сопротивления. В  $(I)_A = \frac{U_x}{r_x}$  вычисляя значение измеряемого сопротивления по

$$r'_x = \frac{U}{I} = \frac{U_x}{I_x + I_v} = \frac{1}{\frac{I_x}{U_x} + \frac{I_v}{U_x}} = \frac{1}{\frac{1}{r_x} + \frac{1}{r_v}} = \frac{r_x \cdot r_v}{r_x + r_v}$$

показаниям приборов получим:

где  $I_v$  – ток протекающий через вольтметр,

$r_v$  – сопротивление вольтметра.

При этом возникают погрешности:

абсолютная:

$$\Delta r = r'_x - r_x = \frac{r_x \cdot r_v}{r_x + r_v} - r_x = \frac{r_x \cdot r_v - r_x^2 - r_x \cdot r_v}{r_x + r_v} = \frac{-r_x^2}{r_x + r_v}$$

и относительная:

$$\delta = \frac{r'_x - r_x}{r_x} \cdot 100 = \frac{-r_x^2}{r_x + r_v} \cdot 100 = \frac{-r_x^2}{r_x + r_v} \cdot 100$$

Значение сопротивления получается меньше, чем его действительное значение. Действительное значение измеряемого сопротивления равно:

$$r_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U}{I - I_v} = \frac{U}{I - U/r_v}$$

Таким образом, обоим приведенным схемам свойственна погрешность, присутствующая самому методу измерения. Эта погрешность может быть учтена при пользовании первой схемой, если известно сопротивление амперметра, а при пользовании второй - сопротивление  $r_v$  вольтметра.

Как видно из выражений (1) и (2) относительная погрешность при измерении сопротивления по методу амперметра и вольтметра зависит от соотношения измеряемого сопротивления и сопротивления приборов:

$$\delta = \frac{r_A}{r_x} \cdot 100$$

для первой схемы

$$\delta = \frac{r_x}{r_x + r_v} \cdot 100 = \frac{1}{1 + r_v/r_x} \cdot 100$$

и для второй схемы

Погрешность при пользовании первой схемой становится малой, когда измеряемое сопротивление много больше сопротивления амперметра.

Погрешность при пользовании второй схемой оказывается незначительной если измеряемое сопротивление много меньше сопротивления вольтметра .

Поэтому при измерении относительно больших, сопротивлений можно рекомендовать первую схему, а для измерений малых сопротивлений пользоваться второй схемой.

При измерении весьма малых сопротивлений (меньше 1 Ом) в результате вкрадывается значительная погрешность вызванная сопротивлением соединительных проводов и переходных сопротивлений контактов в местах присоединения проводов.

Для уменьшения этих погрешностей на измеряемом сопротивлении нужно предусмотреть две пары зажимов: одна для присоединения вольтметра, а другая для присоединения через амперметр источника питания. Вольтметр при такой схеме не учитывает падение напряжения на переходном сопротивлении в контактах присоединения измеряемого сопротивления к источнику питания.

### **Практические указания к выполнению работы.**

I. Для выполнения первого и второго пункта необходимо собрать схему рис.3 для чего выбрать необходимое оборудование:

1. реостат на 6800 Ом -1 шт.,
2. реостат на 5-15 Ом -1 шт.,
3. приборы, учитывая, что регулируемый источник питания позволяет изменять напряжение от 0 до 250 В и ток потребляемый от него не должен превышать 5 А.
4. ключ на 2 положения, соединительные провода.

Ознакомиться с приборами, записать их паспортные данные в табл. 1.

**Обязательно записать в графе "Примечания" списка приборов внутренние сопротивления  $r_A$  и  $r_V$  амперметров и вольтметров для всех пределов измерения.**

Собрать схему и предоставить ее для проверки руководителю.

Электрическая схема, собранная по рис. 3, в зависимости от положения переключателя **S** позволяет измерять заданное неизвестное сопротивление  $R_x$  по схеме 1 (рис. 1) и по схеме 2 (рис. 2) без изменения питающего напряжения, что облегчает анализ погрешностей измерения.

Задавать различные напряжения можно регулятором напряжения однофазным (РНО), который установлен в блоке питания.

Задание:

1. Использовать оборудование по пунктам 1; 3; 4 собрать схему по рис.3; Измерить по схеме 1 и 2 сопротивления в диапазоне 1000-6800 Ом (сопротивление устанавливается перемещением движка реостата). Количество сопротивлений по одному на каждого члена бригады.
2. Аналогично, используя оборудование по пунктам 2; 3; 4 измерить сопротивления в диапазоне 5-15 Ом.
3. Данные всех экспериментов занести в таблицу 1 (в форме: количество делений шкалы прибора и через дробь его предел измерения).
4. Перед разборкой схем дать руководителю на подпись протокол работы.
5. После его подписания разобрать схему и положить приборы на стеллаж.
6. Оформить отчет в соответствии с указанием по подготовке к проведению лабораторных работ (см. раздел 2).
7. Написать выводы по анализу погрешностей схем 1 и 2.

Таблица 1- Данные эксперимента и расчета

Схема 1		Схема 2		$r_x = \frac{U}{I}$ схема 1	схема 2	Схема 1	Схема 2	Погрешности							
U	I	U	I					$r_x = \frac{U}{I} - r_A$		$r_x = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}}$		абсолютная		относительная	
В	А	В	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Сх.1	Сх.2	Сх.1	Сх.2	Ом	Ом	%	%

Внутреннее сопротивление вольтметра определяется одинарным мостом, сопротивление амперметра - двойным мостом или берутся из паспорта прибора. У эталонов они написаны на циферблате.

### Контрольные вопросы.

1. Способы уменьшения погрешностей при измерении малых сопротивлений.
2. Измерение средних сопротивлений амперметром и вольтметром.
3. Какие приборы и методы позволяют наиболее точно измерять сопротивления

4. Чему будет равна относительная погрешность измерения, если измеряемое сопротивление равно сопротивлению вольтметра при использовании схемы 1 и схемы 2.
5. Чему будет равна относительная погрешность измерения, если измеряемое сопротивление равно сопротивлению амперметра при использовании схемы 1 и схемы 2.

### Практические занятия.

#### «Измерение мощности», «Измерение электрической энергии»

**Измерение мощности.** Мощность цепи постоянного тока определяется с помощью амперметра и вольтметра:

$$P = UI \quad P = UI, \quad (1.12)$$

где  $U$  – показание вольтметра, включенного на участке, где определяется мощность, В;  $I$  – показание амперметра на том же участке цепи, А.

Для измерения той же мощности может быть использован электродинамический ваттметр. Угол поворота подвижной части этого прибора, включенного в цепь, пропорционален мощности, значения которого нанесены на шкалу прибора  $\alpha = KP$ .

Активную мощность в цепях переменного тока измеряют так же ваттметрами. Для расширения пределов измерения применяются измерительные трансформаторы тока и напряжения.

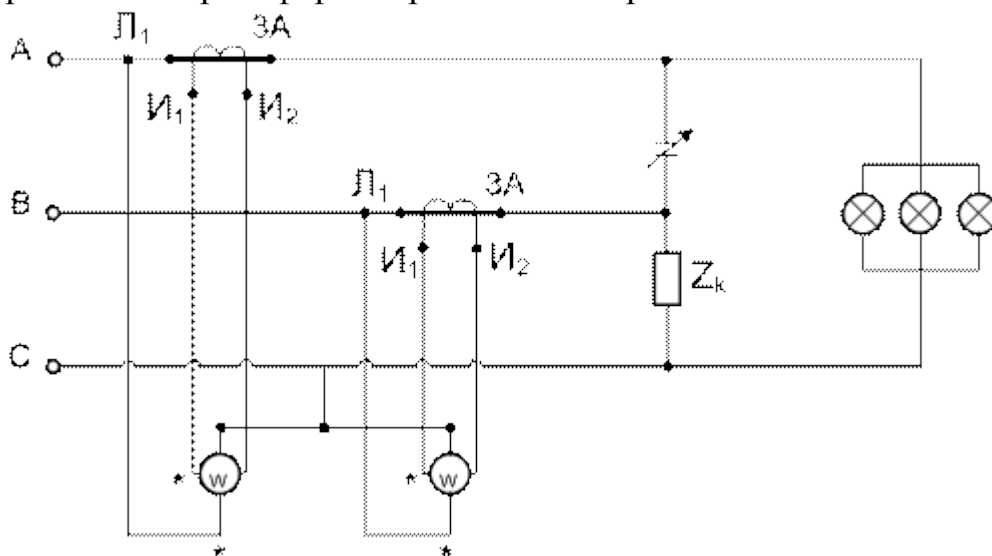


Рис. 4. Схема измерения активной мощности двумя ваттметрами

В трехфазной трехпроводной цепи при симметричной нагрузке для измерения активной мощности применяют один ваттметр, включенный в одну из фаз. Для определения мощности всей трехфазной цепи надо показание ваттметра умножить на три, т. е.

$$P = 3P_1 = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos\varphi. \quad (1.13)$$

В трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке активную мощность всей цепи измеряют с помощью двух ваттметров (рис. 4)

$$P = P_1 + P_2, \quad (1.14)$$

где  $P_1, P_2$  – показания второго и первого ваттметров, Вт:

$$P_1 = U_{AC} I_A \cos\varphi_1;$$

$$P_2 = U_{BC} I_B \cos\varphi_2,$$

где  $\varphi_1$  – фазовый сдвиг между векторами  $U_{AC}$  и  $I_A$ ;  $\varphi_2$  – фазовый сдвиг между векторами  $U_{BC}$  и  $I_B$ .

Для симметричной нагрузки:  $P_1 = U_A I_A \cos(30^\circ - \varphi)$ ;  $P_2 = U_A I_A \cos(30^\circ + \varphi)$ ,

где  $\varphi$  – фазовый сдвиг между напряжением и током в фазе.

В трехфазной цепи при соединении нагрузки «звездой» и наличием нулевого провода (провода нейтрали) для измерения активной мощности применяют метод трех ваттметров. Активная мощность всей цепи равна сумме показаний всех ваттметров:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (1.15)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – показания каждого ваттметра, Вт.

Показания ваттметра определяются по отсчету (в делениях шкалы), умноженному на цену деления ваттметра.

Цена деления ваттметра

$$C_W = \frac{U_{ном} I_{ном}}{\alpha_{max}}, \quad (1.16)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное значение напряжения, В;  $I_{ном}$  – номинальное значение тока, А;  $\alpha_{max}$  – максимальное число делений ваттметра.

**Измерение электрической энергии.** Измерение электрической энергии однофазного электрического тока производят с помощью электрических счетчиков с индукционными измерительными механизмами

$$W = CN, \quad (1.17)$$

где  $W$  – энергия, действительно израсходованная в сети, кВт·ч;  $C$  – действительная постоянная счетчика;  $N$  – число оборотов диска счетчика.

Действительная постоянная счетчика – это количество энергии, которое прошло через счетчик за один оборот диска.

Энергия, учтенная счетчиком:

$$W' = C_{\text{ном}} N \quad , \quad (1.18)$$

где  $C_{\text{ном}}$  – номинальная постоянная счетчика, т. е. количество энергии, учитываемое счетным механизмом за один оборот диска.

Для определения энергии, израсходованной за какой-то промежуток времени, необходимо из показаний его в конце измерения вычесть показание, снятое в начале.

Зная постоянные  $C$  и  $C_{\text{ном}}$ , можно определить относительную погрешность счетчика

$$\delta = \frac{W' - W}{W} = \frac{C_{\text{ном}} - C}{C} 100 \% \quad . \quad (1.20)$$

Поправочный коэффициент счетчика  $K$  – это отношение действительно израсходованной энергии к энергии, учтенной счетчиком:

$$K = \frac{W}{W'} = \frac{CN}{C_{\text{ном}}N} = \frac{C}{C_{\text{ном}}} \quad . \quad (1.21)$$

Для измерения энергии в трехфазных трех- и четырехпроводных цепях применяют однофазные, двухэлементные и трехэлементные счетчики энергии.

**2.5.** Рассчитать мощность, выделяемую в обмотке измерительного механизма вольтметра электромагнитной системы с пределом измерения 100 В, если активное сопротивление обмотки 1 кОм, ее индуктивность 0,3 Гн. Прибор рассчитан на измерение в цепях постоянного и переменного тока частотой 50 Гц.

**Решение.** Для нахождения мощности определяем измерительный ток обмотки. В цепи постоянного тока:

$$I = 0,1 \text{ А} \text{ и } P = 10 \text{ Вт.}$$

В цепи переменного тока

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} = 92 \text{ мА.}$$

Мощность в этом случае имеет вид:

$$P = UI \cos \varphi = \frac{UIR}{Z} = 8,5 \text{ Вт.}$$

Как следует из решения, мощность, выделяемая в обмотке измерительного механизма электромагнитной системы, достаточно велика, что является недостатком этой системы.

**2.6.** В сеть переменного тока через измерительный трансформатор тока 100/2,5 А и измерительный трансформатор напряжения 600/150 В включены амперметр, вольтметр и ваттметр, которые показали соответственно 100, 120 и 88 делений. Пределы измерения приборов следующие: амперметр – 3 А, вольтметр – 150 В, ваттметр – 2,5 А по току, 150 В – по напряжению. Все приборы класса точности  $\gamma = 0,5$  имеют максимальное число делений 150. Определить полную потребляемую мощность, ее полное сопротивление и коэффициент мощности, наибольшую абсолютную и относительные погрешности измерения полного сопротивления, учитывая класс точности прибора.

**Решение.** Определяем цену деления каждого прибора как отношение измерения к максимальному числу делений. Для амперметра цена деления 0,02 А/дел, для вольтметра – 1 В/дел, для ваттметра – 2,5 Вт/дел. Тогда показания приборов:

$$\begin{aligned} I &= 0,02 \cdot 100 = 2 \text{ А} ; \\ U &= 1 \cdot 120 = 120 \text{ В} ; \\ P &= 2,5 \cdot 88 = 220 \text{ Вт} . \end{aligned}$$

Коэффициенты трансформации:

$$K_I = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}} = \frac{100}{2,5} = 40 ; \quad K_U = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}} = \frac{600}{150} = 4 .$$

Ток, напряжение и активная мощность сети

$$\begin{aligned} I_c &= K_I I = 40 \cdot 2 = 80 \text{ А} ; \\ U_c &= K_U U = 4 \cdot 120 = 480 \text{ В} ; \\ P_c &= K_I K_U P = 40 \cdot 4 \cdot 220 = 35,2 \text{ кВт} . \end{aligned}$$

Полную мощность, потребляемую сетью, определяем через ток и напряжение

$$S = U_c I_c = 480 \cdot 80 = 38,4 \text{ кВ}\cdot\text{А} .$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P_c}{S_c} = \frac{35,2}{38,4} = 0,92 .$$

Полное сопротивление сети

$$Z_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{480}{80} = 6 \text{ Ом.}$$

Наибольшее значение полного сопротивления

$$Z_{c \max} = \frac{U_{c \max}}{I_{c \min}} = \frac{120,75 \cdot 4}{1,9875 \cdot 40} = 6,075 \text{ Ом,}$$

где  $U_{c \max} = (U + \Delta_U) K_{U, B}$ ;

$$\Delta_U = \gamma \cdot U_{\text{ном}} / 100\% = 0,5 \cdot 150 / 100\% = 0,75 \text{ В;}$$

$I_{c \min} = (I - \Delta_I) K_{I, A}$ ;

$$\Delta_I = \gamma \cdot I_{\text{ном}} / 100\% = 0,5 \cdot 2,5 / 100\% = 0,0125 \text{ А.}$$

Отсюда абсолютная погрешность

$$\Delta_{Z_c} = Z_{c \max} - Z_c = 6,075 - 6 = 0,075 \text{ Ом.}$$

Относительная погрешность измерения

$$\delta_Z = \frac{\Delta_{Z_c}}{Z_c} 100\% = \frac{0,075}{6} 100\% = 1,25\%$$

**2.11.** Паспортные данные счетчика электрической энергии: 220 В, 10 А, 1 кВт⋅ч – 640 оборотов диска. Определить относительную погрешность счетчика и поправочный коэффициент, если он был проверен при нормальных значениях тока и напряжения и за 10 мин сделал 236 оборотов диска.

**Решение.** Определяем номинальную и действительную постоянные счетчика:

$$C_{\text{ном}} = \frac{W_{\text{ном}}}{N_{\text{ном}}} = \frac{1000 \cdot 3600}{640} = 5625 \text{ Вт⋅с/об,}$$

$$C = \frac{U I t}{N_1} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 600}{236} = 5600 \text{ Вт⋅с/об.}$$

Поправочный коэффициент счетчика

$$K = \frac{C}{C_{\text{ном}}} = \frac{5600}{5625} = 0,995$$

Относительная погрешность счетчика



$$\delta = \frac{C_{\text{НОМ}} - C}{C_{\text{НОМ}}} 100 \% = \frac{5625 - 5600}{5625} 100 \% = 0,444 \%$$

**2.12.** В цепь включен симметричный трехфазный потребитель с фазным сопротивлением  $Z_{\phi} = (6 + j2)$  Ом, линейное напряжение 380 В. Определить показания ваттметров, найти сдвиг фаз между токами и напряжениями их измерительных цепей. Рассчитать активную мощность потребителя.

**Решение.** Так как нагрузка симметрична, то фазные напряжения

$$U_{\phi} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 220 \text{ В},$$

а фазные токи потребителя:

$$\begin{aligned} I_{\phi A} &= U_{\phi A} / Z_{\phi} = 220 / 6,32 e^{j18,4^{\circ}} = 34,66 e^{-j18,4^{\circ}} \text{ А}; \\ I_{\phi B} &= U_{\phi B} / Z_{\phi} = 220 e^{-j120^{\circ}} / 6,32 e^{j18,4^{\circ}} = 34,6 e^{-j138,4^{\circ}} \text{ А}; \\ I_{\phi C} &= U_{\phi C} / Z_{\phi} = 220 e^{j120^{\circ}} / 6,32 e^{j18,4^{\circ}} = 34,6 e^{j101,6^{\circ}} \text{ А}. \end{aligned}$$

Линейные токи при соединении фаз потребителя звездой равны фазным, а линейные напряжения:

$$\begin{aligned} U_{AC} &= U_{\phi A} - U_{\phi C} = 380 e^{-j30^{\circ}} \text{ В}; \\ U_{BC} &= U_{\phi C} - U_{\phi B} = 380 e^{-j90^{\circ}} \text{ В}. \end{aligned}$$

Показания ваттметров для данной схемы измерения определяются из соотношений:

$$P_1 = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos(30^{\circ} - \varphi) \text{ и } P_2 = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos(30^{\circ} + \varphi).$$

Сдвиг фаз  $\varphi$  определяется по комплексу полного сопротивления, т. е.  
 $\varphi = \arctg 2/6 = 18^{\circ}$ .

Подставляя исходные значения параметров, получаем:

$$P_1 = 380 * 220 / \sqrt{40} \cos 12^{\circ} = 12\,900 \text{ Вт};$$

$$P_2 = 380 * 220 / \sqrt{40} \cos 48^{\circ} = 8750 \text{ Вт}.$$

Активная мощность всей трехфазной нагрузки равна сумме показаний ваттметров, т. е.

$$P = P_1 + P_2 = 21,65 \text{ кВт}.$$

Для проверки можно воспользоваться известным соотношением

$P = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi = \sqrt{3} 380 34,6 0,95 = 21,65 \text{ кВт}$ , т. е. результаты совпадают.

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Через трансформатор тока 50/5 А трансформатор напряжения 3000/150 В в однофазную цепь переменного тока включён ваттметр электродинамической системы с пределами измерений  $I_{пр} = 5 \text{ А}$ ,  $U_{пр} = 150 \text{ В}$ . Определить активную мощность цепи и наибольшую относительную погрешность измерения, если ваттметр показал 125 делений. Класс точности прибора 0,5, максимальное число делений 150 (классом точности измерительных трансформаторов пренебречь).

2. Амперметр, вольтметр и ваттметр подключены к нагрузке через трансформаторы тока 150/5 А и напряжения 1000/100 В. Показания приборов при этом были следующие:  $I = 2,4 \text{ А}$ ,  $U = 78 \text{ В}$  и  $P = 165 \text{ Вт}$ . Определить ток, напряжение и мощность нагрузки (полную, активную и реактивную) и  $\cos \varphi$ .

3. В сети однофазного тока, находящейся под напряжением 1500 В, проходит ток 140 А. Для измерения этих значений, потребляемой активной мощности и  $\cos \varphi$  использовали вольтметр с пределом измерения 75 В, амперметр на 5 А и ваттметр с пределами по току и напряжению соответственно 5 А и 75 В, с числом делений 150. Приборы имеют класс точности 0,5 и включены в сеть через трансформаторы тока и напряжения с коэффициентами трансформации  $K_{I_{ном}} = 40$  при  $I_{2ном} = 5 \text{ А}$  и  $K_{U_{ном}} = 30$  при  $U_{2ном} = 100 \text{ В}$ . Определить показания амперметра и вольтметра, а также потребляемую активную мощность и  $\cos \varphi$ , если ваттметр показал 90 делений. Найти относительные погрешности измерения этих величин, определяемые классом точности прибора.

4. Определить полное, активное и реактивное сопротивления и мощности цепи переменного тока, если амперметр, вольтметр и ваттметр, включённые через трансформаторы тока и напряжения, с коэффициентами трансформации  $K_{I_{ном}} = 50$  и  $K_{U_{ном}} = 40$  при  $I_{2ном} = 5 \text{ А}$  и  $U_{2ном} = 100 \text{ В}$ , показали следующие значения:  $I = 4,2 \text{ А}$ ,  $U = 90 \text{ В}$ ,  $P = 240 \text{ Вт}$ .

5. Счётчик электрической энергии имеет паспортные данные: 120 В, 10 А, 1 кВт·ч – 625 оборотов диска. Определить номинальную постоянную счётчика и мощность нагрузки, если его диск сделал за 10 мин 450 оборотов.

6. Определить номинальную  $C_{ном}$  и действительную  $C$  постоянные счётчика электрической энергии, его относительную погрешность и поправочный коэффициент, если паспортные данные счётчика: 220 В, 5 А, 50 Гц, 1 кВт·ч –

1280 оборотов диска. Счётчик проверен при напряжении 220 В и токе 5 А и сделал 150 оборотов за 6 мин.

7. Счётчик электрической энергии, включённый в цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц, сделал 11600 оборотов за 15 ч. Определить ток нагрузки при условии, что нагрузка постоянна, а  $C_n = 4800$  Вт·с/об.

## Практическое занятие

### Расшифровка электроизмерительных приборов.

#### 1. Для измерения электрических величин и магнитных величин служат электроизмерительные приборы:

амперметры; вольтметры; гальванометры; омметры; ваттметры; мосты постоянного тока; осциллографы и другие, а также их комбинации.

Процесс измерения состоит в сравнении измерений физической величины с ее значением, принятым за единицу.

Измерительные приборы обладают высокой точностью в работе, возможностью автоматизации процесса измерений и передачи показаний на большие расстояния, простотой ввода результатов измерений в электрические вычислительные устройства.

#### 2. Системы приборов.

В зависимости от принципа действия наиболее употребительные системы приборов:

магнитоэлектрическая;

электромагнитная;

термоэлектрическая;

индукционная;

тепловая;

электронная (цифровая).

По роду измеряемой величины электроизмерительные приборы делятся на:

вольтметры (для измерения напряжения и ЭДС);

амперметры (для измерения тока);

ваттметры (для измерения мощности);

частотомеры (для измерения частоты переменного тока);

фазометры (для измерения угла сдвига фаз);

омметры, мегаомметры (для измерения электрического сопротивления).

По роду электрического тока различают приборы:

постоянного тока;

переменного тока;

комбинированные.

По способу установки различают приборы:

щитовые (для монтажа на приборных щитах);

переносные.



На шкалу электроизмерительных приборов наносится ряд условных обозначений.


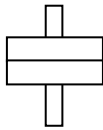

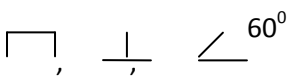

Таблица 1

Обозначение единиц измеряемых величин \	обознач. русск.	обознач. междунар.	наименование	обознач. русск.	обознач. междунар.
ампер	A	A	ом	ом	□□
килоампер	kA	kA	килоом	кОм	k□
миллиампер	mA	mA	мегаом	МОм	M□
микроампер	мкА	□A	миллиом	МОм	m□
вольт	B	V	микроом	мкОм	□□□
киловольт	kB	kV	микрофарад1	мкФ	□F
милливольт	mB	mV	пикофарад	пФ	pF
ватт	Bт	W	генри	Гн	H
киловатт	kBт	kW	миллигенри	мГн	mH
мегаватт	MBт	MW	микрогенри	мкГн	□H
вар	вар (Var)	var	□	□	□
мегавар	Mвар(MBAr)	Mvar	коэффициент реактивной мощности		sin □
коэффициент мощности			Cos □		

**4. Расшифровка условных обозначений приведена в таблице 1.**

Таблица 1

Обозначение	Расшифровка
1,5	Класс точности 1,5
—	Постоянный ток
~	Переменный (однофазный) ток
~	Постоянный и переменный токи
⏚	Трехфазный ток
	Прибор магнитоэлектрической системы
	Прибор электромагнитной системы

	
	Прибор электродинамической системы
	Прибор индукционной системы
	Прибор устанавливается горизонтально, вертикально, под углом $60^\circ$
	Изоляция прибора испытана при напряжении 3 кВ

На схемах и лицевой панели прибора род измеряемой величины указывается с помощью условных обозначений, некоторые из которых приведены в таблице 2.

Наименование прибора	Условное обозначение
Амперметр	A
Вольтметр	B
Ваттметр	W
Варметр	var
Омметр	$\Omega$
Гальванометр	Г
Счетчик ватт-часов	Wh