

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ"
РАЗДЕЛ "ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И АНАЛОГОВЫЕ
ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ"
(для студентов специальностей 0301-0303)

Утверждено
на заседании кафедры
электрических машин.
Протокол № 7 от 23.01.92

Перезатверджено
на засіданні кафедри
«Електромеханіки і ТОЕ»
протокол № 1 від 30.08.2013

Донецк ДПИ 1992

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Промышленная электроника и информационно-измерительная техника в электроэнергетике". Раздел "Основы метрологии и аналоговые электроизмерительные приборы" (для студентов специальностей 0301-0303) /Сост.: Л.А. Васильев, В.П. Корниенко, В.И. Добрянский. - Донецк: ДПИ, 1992. - 66 с.

Содержат основные рекомендации по определению метрологических характеристик аналоговых электроизмерительных приборов, а также по обработке и представлению результатов экспериментов.

Подготовлены в соответствии с программой дисциплины для студентов энергетических специальностей.

Составители: Л.А. Васильев, доц.
В.П. Корниенко, доц.
В.И. Добрянский, доц.

Отв. за выпуск М.З. Дудник, проф.

ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА В ЛАБОРАТОРИИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

1. Лабораторные работы выполняются в соответствии с графиком лабораторных занятий, который доводится до студентов в начале семестра. Занятия проводятся точно по расписанию, нельзя опаздывать и преждевременно уходить с занятий.

2. К лабораторным работам допускаются только студенты, усвоившие правила техники безопасности.

3. К каждому занятию в лаборатории студенты должны быть подготовлены и иметь отчет о предыдущей работе, выполненный по установленной форме. Студенты, недостаточно подготовленные к работе или не имеющие отчета, к работе не допускаются.

4. Лабораторные работы выполняются бригадами в составе 2-3 человек.

5. При выполнении лабораторных работ требуется неукоснительно соблюдать правила техники безопасности.

6. Все собранные схемы должны быть проверены преподавателем. После пересоединений схему необходимо проверить. Включать схемы без проверки недопустимо.

7. Во время лабораторных работ в лаборатории должны поддерживаться надлежащий порядок и целовая обстановка.

8. В процессе выполнения работы необходимо аккуратно вести черновые протоколы.

9. Все пересоединения в схеме или полная ее разборка можно выполнять только с разрешения преподавателя после проверки правильности полученных результатов. В случае их неправильности работу следует повторить. По окончании работы студенты должны получить пометку в черновом протоколе о выполнении работы.

10. Студенты должны бережно обращаться с приборами и оборудованием лаборатории и нести материальную ответственность в случае их порчи. Запрещается делать надписи мелом, чернилами или карандашами на столах, приборах, стендах и машинах.

11. Пропущенные работы необходимо отработать у преподавателей, ведущих занятие в данной группе, в соответствии с графиком отработок.

12. Студенты, нарушившие правила внутреннего распорядка, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Не приступать к работе, не ознакомившись с рабочим местом.

2. Перед сборкой схемы убедиться в отсутствии напряжения на выводах автомата питания.

3. Все соединения делать под зажимами без скруток, наложения и т.д.

4. Перед включением схемы все регулирующие устройства (реостаты, автотрансформаторы) установить в положения, которые обеспечивают наименьший ток в цепи.

5. В момент включения и в процессе регулирования наблюдать за показаниями приборов схемы. Не допускать зашкаливания приборов.

6. Все пересоединения в схеме делать только при выключенных автоматах питания.

7. Запрещается прикасаться к неизолированным частям приборов и аппаратов, находящихся под напряжением.

8. В процессе работы не оставлять без наблюдения установку, находящуюся под напряжением.

9. Не загромождать рабочее место излишними приборами, аппаратами, соединительными проводами и другими предметами.

10. В случае аварии на рабочем месте немедленно выключить автомат питания на рабочем столе и сообщить преподавателю.

11. При попадании кого-либо под напряжение быстро выключить автомат питания и оказать помощь пострадавшему.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТОВ О ВЫПОЛНЕННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ

Результаты лабораторных работ, выполняемых в лаборатории, оформляются в виде отчетов единого образца индивидуально каждым студентом.

Отчет пишется пастой или чернилами черного или синего цвета, как правило, с одной стороны листа. Бланки изготавливаются на листах формата А4 (размер 210x297 мм). Основные надписи по ГОСТ 2,104-79. На первом листе делается основная надпись, как для первого листа текстовых документов ЕСКД, на остальных — как для последующих листов.

Допускается следующее оформление первого листа отчета по лабораторной работе. В верхней части бланка указываются номер и наименование работы, группа и фамилия студента, а в нижней части помещаются фамилии преподавателя и студента, их подписи и дата выполнения работы, как показано на рисунке.

В отчете обязательно отражаются разделы "Цель работы", "Оборудование и приборы" с перечнем использованных приборов, "Содержание работы", "Схемы испытаний", "Результаты измерений и вычислений", "Анализ полученных результатов и краткие выводы".

Необходимые схемы, рисунки, графики вычерчиваются карандашом с применением чертежных принадлежностей. Все условные графические обозначения в электрических схемах должны соответствовать ГОСТу. Все схемы, таблицы, рисунки, нумеруются и снабжаются наименованием. Если результа-

ты вычислений представляются таблицей, приводятся примеры расчетов для одной строки таблицы. Формулы записываются в буквенном виде, затем представляются данные и приводится результат вычисления с указанием единиц величин. Все единицы физических величин выражаются в СИ. Графики выполняются в масштабе с указанием размерности по осям, экспериментально полученные точки наносятся в виде небольших кружочков. На графиках, отражающих закономерную зависимость, экспериментальные точки соединяются плавной кривой. При этом линия не обязательно должна проходить через все точки, так как некоторые из них из-за неточности измерений могут выпадать.

Особое внимание студенты должны уделять составлению заключения по выполненной работе, где требуется сопоставить результаты экспериментальных исследований с известными соотношениями из изучаемого курса, указав причины наблюдаемых отклонений.

Отчет, составленный с соблюдением всех перечисленных требований, вместе с черновым протоколом по работе представляется на следующем лабораторном занятии.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ШКАЛАХ ПРИБОРОВ

Согласно ГОСТ 22261-82 на электроизмерительные приборы должны быть нанесены наименование и тип прибора, товарный знак завода-изготовителя, заводской номер и год выпуска, а также другие обозначения, указывающие основные метрологические характеристики, условия эксплуатации и др.

Обозначение типа электроизмерительного прибора состоит из буквенного индекса и следующих за ним цифр. Буквенный индекс характеризует принцип действия (систему прибора).

Для основных типов аналоговых измерительных приборов приняты следующие значения буквенных индексов:

- М - приборы магнитоэлектрической системы;
- Э - электромагнитные приборы.

Для основных типов аналоговых измерительных приборов приняты следующие значения буквенных индексов:

- М - приборы магнитоэлектрической системы;
- Э - электромагнитные приборы;
- Д - электродинамические и ферродинамические приборы;
- С - приборы электростатической системы, а также электронно-лучевые

осциллографы;

- И - индукционные приборы;
- Ц - выпрямительные приборы;

Проверка технических приборов

1. Цель работы

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

2. Оборудование и приборы

Таблица I

Перечень использованных приборов

Наименование	Тип	Заводской номер	Система		Класс точности	Род тока	Диапазон измерения	Цена деления	Рабочее положение	Испытательное напряжение, кВ
			Название	Условное обозначение						
1. Амперметр	ЭЗ78	34101	ЭМ		1,5	~	1-5 А	0,2 А/дел	⊥	2

3. Содержание работы

- 3.1. Определение основных погрешностей.
- 3.2. Определение времени установления показаний.
- 3.3. Определение потребляемой мощности.
- 3.4. Определение сопротивления изоляции прибора.

- 4. Схемы испытаний
- 5. Результаты измерений и вычислений
- 6. Анализ полученных результатов и краткие выводы

Разработал	Петров К.И.		1.10.91 г.	Лист
Проверил	Васильев Л.А.		2.10.91 г.	I
	Фамилия И.О.	Подпись	Дата	Листов
				2

Ф - электромеханические приборы с электронными усилителями;
Н - самопишущие приборы.

Первая цифра (или две цифры, если первая из них 4), следующая непосредственно за буквенным индексом, служит для обозначения завода-изготовителя или организации, разработавшей прибор.

Основные условные обозначения по ГОСТ 23217-78, наносимые на шкалы приборов, приведены в таблице.

Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

Наименование	Условные обозначения	
	1	2
I. Род тока		
Ток постоянный		—
Ток переменный (однофазный)		~
Ток постоянный и переменный		⎓
Ток трёхфазный переменный (общее обозначение)		⎓
2. Безопасность		
Напряжение испытательное 500 В		☆
Напряжение испытательное, превышающее 500 В (например, 2 кВ)		☆ ₂
Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит		☆ ₀
Прибор или вспомогательная часть под высоким напряжением		⚡ ⓧ
3. Используемое положение		
Прибор применять при вертикальном положении шкалы		⊥
Прибор применять при горизонтальном положении шкалы		┌

Продолжение таблицы

I	2
Прибор применять при наклонном положении шкалы (например, под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	
Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле	
4. Общие условные обозначения	
Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
Логометр магнитоэлектрический	
Прибор магнитоэлектрический с подвижным магнитом	
Прибор электромагнитный	
Логометр электромагнитный	
Прибор электродинамический	
Прибор ферродинамический	
Логометр электродинамический	
Логометр ферродинамический	
Прибор индукционный	
Прибор электростатический	
Прибор магнитоэлектрический с выпрямителем (выпрямительный прибор)	

Продолжение таблицы

I	2
Прибор магнитоэлектрический с неизолированным термопреобразователем (термоэлектрический прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с изолированным термопреобразователем (термоэлектрический прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с электронным преобразователем в измерительной цепи (электронный прибор)	
Экран электростатический	
Экран магнитный	
Зажим для заземления	
Корректор	
Основные условия эксплуатации (ссылка на инструкцию к прибору)	
5. Классы точности	
Класс точности, выраженный в процентах от нормирующего значения измеряемой величины (при преобладающей аддитивной погрешности) (пример)	I,5
Класс точности, выраженный в процентах от нормирующего значения, определяемого длиной шкалы (для приборов с резконерованной шкалой) (пример)	
Класс точности, выраженный в процентах от значения измеряемой величины (при преобладающей мультипликативной погрешности) (пример)	

I	1	2
Класс точности, выраженный в процентах от значения измеряемой величины (при соизмеримых аддитивной и мультипликативной погрешностях) (пример)		0,5/0,2

Условные обозначения позволяют определить основные характеристики приборов. Поэтому перед выполнением каждой лабораторной работы условные обозначения всех используемых в ней средств измерений необходимо тщательно изучить и занести в таблицу приборов (см. рисунок).

Лабораторная работа I ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Цель работы: ознакомление с методикой поверки технических амперметров и вольтметров и определение их основных характеристик.

Оборудование и приборы

В работе используются амперметры и вольтметры магнитоэлектрической и электромагнитной систем классов точности I,0 или I,5, образцовые приборы магнитоэлектрической и электродинамической систем класса точности 0,2 или 0,5, реостаты, понижающий трансформатор напряжения (на переменном токе), секундомер, мегометр, милливольтметр (при поверке амперметра) или миллиамперметр (при поверке вольтметра).

Содержание работы

1. Определение основных погрешностей.
2. Определение времени установления показаний.
3. Определение потребляемой прибором мощности.
4. Определение сопротивления изоляции прибора.

Пояснения к работе

Средства измерений применяются во всех отраслях народного хозяйства страны, в самых различных условиях и всегда должны быть готовы к использованию по назначению, обеспечивать единство и достоверность измерений в стране и в международном масштабе.

В процессе пользования любым электроизмерительным прибором точность и постоянство его показаний в силу изменения ряда факторов (упругости пружинок, поля постоянного магнита, постоянства добавочных и

шунтирующих сопротивлений и т.д.) не остаются постоянными. Поэтому согласно ГОСТ 8.002-71 все средства измерения подлежат обязательной периодической поверке. При поверке определяются наиболее важные характеристики приборов (основные погрешности, время установления, прочность изоляции, собственное потребление мощности).

По результатам поверки делается вывод о пригодности прибора для дальнейшего использования.

Рассмотрим основные характеристики электроизмерительных приборов.

I. Основные погрешности и их определение

В зависимости от назначения показывающие измерительные приборы подразделяются на образцовые и рабочие.

Результат измерения физической величины независимо от того, какими бы приборами не производились измерения и как бы тщательно они не выполнялись, всегда отличаются от истинного значения на некоторую величину, называемую погрешностью измерения.

Абсолютная погрешность прибора Δ есть разность между показанием прибора X_n и действительным значением X измеряемой величины, т.е.

$$\Delta = X_n - X. \quad (I.1)$$

Относительная погрешность прибора δ представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, обычно выражается в процентах:

$$\delta = \frac{X_n - X}{X} 100\% = \frac{\Delta}{X} 100\%. \quad (I.2)$$

Приведенная погрешность γ есть выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности Δ к нормирующему значению X_n :

$$\gamma = \frac{X_n - X}{X_n} 100\% = \frac{\Delta}{X_n} 100\%. \quad (I.3)$$

Нормирующим значением называется условно принятое значение, которое в приборах с односторонней шкалой равно обычно верхнему пределу измерений.

Погрешность измерения может не зависеть от значения измеряемой величины или изменяться при изменении последней. Постоянную составляющую погрешности измерения называют аддитивной погрешностью, а переменную составляющую, пропорциональную измеряемой величине, мультипликативную погрешностью.

Наличие трения в опорах, а также износ кернов, подшипников и другие причины приводят к вариациям в показаниях прибора.

Вариация показаний прибора - это наибольшая возможная разность показаний прибора при одном и том же значении измеряемой величины. Она определяется при плавном подходе стрелки к испытуемой отметке шкалы при движении ее первый раз от начальной, а второй раз от конечной отметок шкалы.

Значение погрешности зависит от условий измерения (температуры, давления, влажности и т.п.).

Основная погрешность - это погрешность при нормальных условиях эксплуатации прибора. Погрешности, обусловленные отклонением внешних условий от нормальных, называются дополнительными. Наибольшая погрешность, при которой прибор может быть признан годным и допущен к применению, называется пределом допустимой погрешности.

Для большинства электрических средств измерений, используемых в статическом режиме, пределы допускаемых погрешностей нормируют. Вопросы нормирования погрешностей рассмотрены в ГОСТ 8.401-80 "Классы точности средств измерений. Общие требования".

Согласно ГОСТ 8.401-80 приборам присваивается определенный класс точности. Класс точности - это обобщенная характеристика прибора, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей.

Способ обозначения класса точности определяется характером зависимости погрешностей прибора от значения измеряемой величины.

У большинства показывающих стрелочных и самопишущих приборов преобладает аддитивная составляющая погрешности, в частности погрешность от трения и погрешность отсчета, которые постоянны по всей шкале прибора, т.е. $\Delta = const$. Относительная погрешность этих приборов возрастает с уменьшением измеряемой величины. Поэтому класс точности для этих приборов устанавливается по приведенной погрешности и выражается одним числом.

Число, обозначающее класс точности, определяет предел допускаемой приведенной основной погрешности. Например, для прибора класса 0,2 численное значение наибольшей основной приведенной погрешности не должно превышать $\pm 0,2\%$.

Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой (например, омметров) нормирующее значение X_n , по которому рассчитывают приведенную погрешность, устанавливают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. Класс точности таких приборов обозначают одним числом, отчерченным снизу уголком, например, $\underline{1,0}$.

Имеются средства измерений, у которых погрешность измерения изменяется пропорционально измеряемой величине, т.е. преобладает мульти-

пликативная погрешность. Для обозначения класса точности в этом случае используется одно число, помещенное в кружок, например, $\textcircled{2,0}$. Класс точности здесь определяет предел допускаемой относительной основной погрешности.

Если же аддитивная и мультипликативная погрешности соизмеримы (как у цифровых приборов), то класс точности обозначается в виде двух чисел, разделенных дробной чертой, например, 1,0/0,5. При этом также нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности, только эта погрешность вычисляется по формуле:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_n}{X} - 1 \right) \right], \quad (1.4)$$

где c - число над дробной чертой в обозначении класса точности;

d - число под дробной чертой.

Технические требования к электроизмерительным приборам сформулированы в ГОСТ 22261-82. На основании его разработаны и введены в действие частные ГОСТы на отдельные виды электроизмерительной аппаратуры, которые устанавливают различные классы точности приборов. Так ГОСТ 8711-78 для амперметров и вольтметров устанавливает следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 и 5,0.

Кроме того, в ГОСТ для каждого данного класса точности прибора регламентируется погрешность от вариации показаний и изменения показаний прибора от различных внешних факторов. Так, например, по ГОСТ 8711-78 для большинства амперметров предел допускаемой вариации показаний приборов должен быть равен пределу допускаемой основной погрешности.

Соответствие классу точности устанавливается путем определения основных погрешностей, т.е. погрешностей при нормальных условиях применения. Основные погрешности обычно определяются методом сличения, при котором показания поверяемого рабочего прибора сравниваются с показаниями более точного, образцового прибора. Точность образцового прибора всегда должна превышать точность поверяемого не менее, чем в 3 раза. В этом случае погрешностью образцового прибора можно пренебречь, а его показания принимаются за действительное значение измеряемой величины.

В качестве образцовых на постоянном токе применяются приборы магнитоэлектрической системы, на переменном токе - электродинамической.

2. Время установления показаний

Быстродействие стрелочных приборов характеризуется временем установления показаний, под которым понимают промежуток времени от момента

изменения измеряемой величины до того момента, когда стрелка прибора удаляется от установившегося положения на величину, не превышающую 1% длины шкалы.

У абсолютного большинства аналоговых приборов время установления показаний не должно превышать 4 с. Исключение составляют термоэлектрические и электростатические приборы, для которых наибольшее время установления показаний не превышает 6 с.

3. Потребляемая мощность

Одним из важных показателей измерительного прибора, хотя и ненормируемым ГОСТом, является величина потребляемой им мощности.

При включении электроизмерительного прибора в цепь, находящуюся под напряжением, прибор потребляет от этой цепи некоторую мощность. В большинстве случаев эта мощность мала с точки зрения экономии электроэнергии. Но при измерении в маломощных цепях в результате потребления мощности может изменяться режим работы, что приведет к увеличению погрешности измерения.

Определение потребляемой мощности амперметром производится при номинальном токе поверяемого амперметра с помощью подключенного к его зажимам вольтметра. Вольтметр для измерения падения напряжения на зажимах амперметра должен иметь достаточно малый предел измерения и большое внутреннее сопротивление. Наиболее пригодны для этой цели электронные, цифровые или выпрямительные вольтметры.

Потребляемая мощность вольтметром определяется при номинальном напряжении поверяемого вольтметра с помощью включенного последовательно с ним амперметра, который должен иметь достаточно малый предел измерения и малое внутреннее сопротивление.

Потребляемая прибором мощность находится по формуле

$$P_{пр} = I_n^2 R_{пр} \quad (I.5)$$

где $R_{пр}$ - внутреннее сопротивление поверяемого прибора, вычисленное по показаниям амперметра и вольтметра.

4. Сопротивление изоляции прибора

В соответствии с ГОСТ 22261-82 сопротивление изоляции между корпусом и изолированными по постоянному току электрическими цепями при номинальных условиях температуры и влажности должно быть не менее 40 МОм при рабочих напряжениях до 1000 В.

Измерение сопротивления изоляции производится мегомметром с номинальным напряжением 500 В.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, применяемыми в настоящей работе, записать их паспортные данные в таблицу приборов.
2. Собрать схему поверки, указанную преподавателем (рисунок).
3. Подать напряжение на схему поверки. Перемещая движок реостата, плавно переместить стрелку прибора от нулевого показания до максимального и обратно и убедиться в отсутствии трения стрелки.
4. 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.
5. Указатель испытываемого прибора установить последовательно на всех числовых отметках шкалы сначала при возрастании измеряемого тока (напряжения) от нуля до наибольшего значения по шкале и затем 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.
6. Результаты наблюдений и вычислений погрешностей записать в табл. I.I. Вариацию показаний $\gamma_{вар}$ и поправку вычислить по формулам:

$$\gamma_{вар} = \frac{I_o \epsilon_{зр} - I_o \epsilon_{убв}}{I_n} 100\% \quad , \quad - \Delta = I_o - I_n ;$$

$$\gamma_{вар} = \frac{U_o \epsilon_{зр} - U_o \epsilon_{убв}}{U_n} 100\% \quad , \quad - \Delta = U_o - U_n .$$

При вычислении приведенной погрешности и поправки для каждой пары абсолютных погрешностей выбирать большее значение.

Таблица I.I.

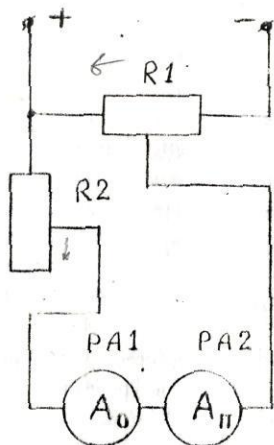
Расчет основных погрешностей

Показания поверяемого амперметра I_n, A	Показания образцового амперметра, A		Абсолютные погрешности, A $\Delta \epsilon_{зр}$	Относительные погрешности, % $\Delta \epsilon_{убв}$	Приведенная погрешность, % $\gamma, \%$	Вариация показаний, % $\gamma_{вар}, \%$	Поправка, A $-\Delta, A$
	$I_o \epsilon_{зр}$	$I_o \epsilon_{убв}$					

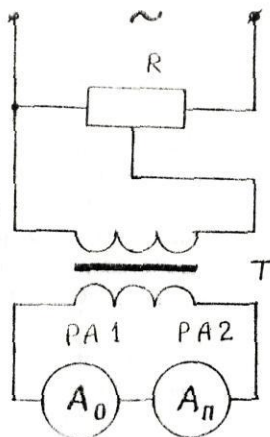
Примечание. При поверке вольтметра таблица составляется аналогично

7. Определить время установления показаний поверяемого прибора на числовой отметке в середине шкалы.

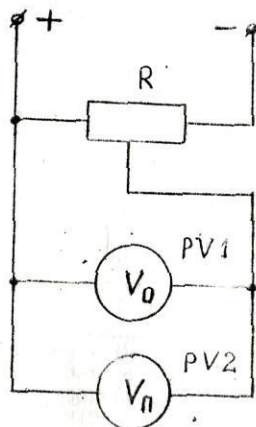
Включить одновременно схему и секундомер, выключить секундомер в



а



б



в

момент времени, когда амплитуда колебаний стрелки станет менее 1% длины шкалы. Опыт повторить три раза. Результаты наблюдений и вычислений записать в табл. 1.2.

8. Методом амперметра и вольтметра при номинальном токе поверяемого прибора измерить его сопротивление. Результаты наблюдений и расчетов записать в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Определение характеристик прибора

Время успокоения, с				Сопротивление и потребляемая мощность поверяемого прибора			Сопротивление изоляции, МОм
t_1	t_2	t_3	$t_{\text{уп}}$	I, A	U, B	$R_{\text{пр}}, \text{Ом}$	$P_{\text{пр}}, \text{Вт}$

9. Измерение сопротивления изоляции.

Зажим "линия" мегомметра соединить с одним из зажимов поверяемого прибора, а зажим "земля" - с корпусом прибора. Вращая равномерно ручку генератора мегомметра со скоростью 90-120 об/мин, произвести отчет по шкале.

Содержание отчета

1. Схема проверки прибора.
2. Таблицы результатов измерений и вычислений.
3. График поправок (экспериментальные точки соединить прямыми линиями).
4. Анализ полученных результатов и вывод о их соответствии требованиям ГОСТ.
5. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. С какой целью производится периодическая проверка приборов? Какие характеристики определяются при поверке?
2. Как рассчитываются абсолютные, относительные и приведенные погрешности?
3. Дайте определение аддитивной и мультипликативной погрешностей.
4. Дайте определение основной и дополнительной погрешностей.
5. Что называется классом точности средств измерений? Какие имеются способы установления класса точности электроизмерительных приборов?
6. Класс точности прибора *I,5. Что определяет это число?

7. Как определяется время установления показаний?
8. Как определяется собственная потребляемая мощность прибора?
9. С какой целью измеряют сопротивление изоляции прибора?
10. Дайте определение вариации показаний.

Лабораторная работа 2

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ И КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: изучение методов обработки и представления результатов однократных измерений на примере измерения сопротивления реостата.

Оборудование и приборы

В работе используются: миллиамперметр, вольтметры Э505(Э59), М2004, реостат 100...800 Ом, источник постоянного напряжения.

Содержание работы

1. Измерить сопротивление реостата с помощью электромагнитных приборов.
2. Измерить сопротивление того же реостата, применив вольтметр магнитоэлектрической системы.
3. Обработать и сравнить полученные результаты, представив их по ГОСТ 8.011-72.

Пояснения к работе

Любой результат измерений содержит погрешность. В электрических измерениях в эту погрешность обычно входят инструментальная и методическая погрешности.

Инструментальная погрешность – это погрешность, присущая самому средству измерений, т.е. тому прибору или преобразователю, с помощью которого выполняется измерение. Причинами инструментальной погрешности могут быть неидеальность характеристики средства измерений, влияние окружающей среды на эту характеристику и т.д.

Методическая погрешность появляется вследствие несовершенства метода измерения:

- несоответствия измеряемой величины и ее модели, принятой при измерении;
- влияния средства измерений на объект измерения и процессы, происходящие в нем.

Так, напряжение на выходе выпрямителя считается постоянным и может быть измерено, например, магнитоэлектрическим или электродинамическим вольтметром. Однако, если в измеряемом напряжении есть переменная составляющая (пульсации), то показания вольтметров будут различны, поскольку они по-разному будут реагировать на эти пульсации. Показания вольтметров будут различны не из-за несовершенства приборов, а из-за того, что при измерении было принято за постоянное напряжение, не являющееся таковым.

Примерами влияния приборов на объект измерения могут служить временное включение амперметра (рис. 2.1, а) или вольтметра (рис. 2.1, б) при прямых измерениях. Измеренные значения тока или напряжения будут меньше действительных значений. Методические погрешности будут отрицательными:

$$\delta_{M_A} = -\frac{R_A}{R_H} \cdot 100\% ; \quad \delta_{M_V} = -\frac{R_H}{R_V} \cdot 100\% .$$

При измерении сопротивлений резисторов косвенным методом с помощью вольтметра и амперметра схемы получаются достаточно простыми (рис. 2.2).

При расчете по приближенным формулам независимо от схемы включения имеем

$$R_x' = \frac{U_V}{I_A}$$

где U_V, I_A – показания приборов.

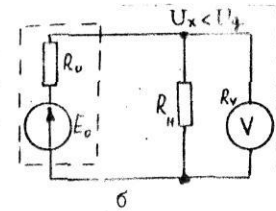
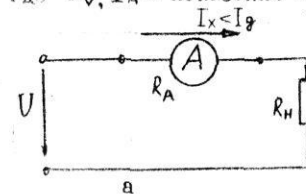


Рис. 2.1

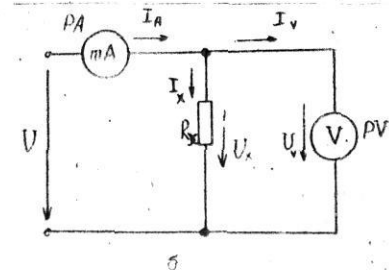
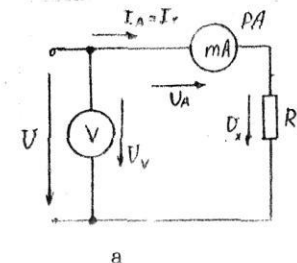


Рис. 2.2
19

Расчет по этой формуле не учитывает сопротивлений приборов и приводит к тому, что результат вычислений содержит не только инструментальную, но и методическую погрешности.

В схеме рис. 2.2,а амперметр измеряет ток в ветви с R_x и $I_A = I_x$, а показания вольтметра $U_V = U_x + U_A = U_x + I_A R_A$. Абсолютная методическая погрешность в этой схеме $\Delta_M = R_x' - R_x$, где R_x' - значение, не содержащее методической погрешности:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V - I_A R_A}{I_A} = R_x' - R_A.$$

Таким образом, абсолютная методическая погрешность будет тем больше, чем больше сопротивление амперметра $\Delta_M = R_A$. Относительная методическая погрешность схемы рис. 2.2, а составляет

$$\delta_M = \frac{\Delta}{R_x} \cdot 100\% = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100\% \approx \frac{R_A}{R_x'} \cdot 100\%.$$

Эту схему (при расчете по приближенной формуле) обычно применяют для измерений относительно больших сопротивлений, когда $R_x \gg R_A$.

В схеме рис. 2.2,б вольтметр измеряет напряжение на резисторе и $U_V = U_x$, а амперметр - сумму токов $I_A = I_x + I_V$. Действительное значение измеряемого сопротивления резистора

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - U_V/R_V}.$$

Определим абсолютную и относительную методические погрешности этой схемы:

$$R_x = \frac{U_V/I_A}{1 - \frac{U_V/I_A}{R_V}} = \frac{R_x'}{1 - R_x'/R_V} = \frac{R_x' R_V}{R_V - R_x'};$$

$$\Delta_M = R_x' - R_x = R_x' - \frac{R_x' R_V}{R_V - R_x'} = \frac{R_x' R_V - (R_x')^2 - R_x' R_V}{R_V - R_x'} = -\frac{(R_x')^2}{R_V - R_x'};$$

$$\delta_M = \frac{\Delta}{R_x} \cdot 100\% = \frac{-\frac{(R_x')^2}{R_V - R_x'}}{\frac{R_x' R_V}{R_V - R_x'}} \cdot 100\% = -\frac{R_x'}{R_V} \cdot 100\%.$$

Схему рис. 2.2,б (при расчете сопротивления резистора по приближенной формуле) применяют для измерений сравнительно малых сопротивлений, когда $R_x \ll R_V$.

Методическая погрешность во всех рассмотренных схемах постоянна для данного R_x , т.е. она имеет систематический характер. Система-

тические погрешности подлежат исключению из результатов измерений. Наиболее просто это сделать путем внесения поправки:

$$а) R_x = R_x' - \Delta_M = R_x' - R_A;$$

$$б) R_x = R_x' - \Delta_M = R_x' + \frac{(R_x')^2}{R_V - R_x'} = \frac{R_x' R_V}{R_V - R_x'}.$$

Однако при внесении поправки часто остается неисключенная составляющая систематической погрешности, обусловленная расчетом погрешностей с использованием замены действительного значения на измеренное ($X \approx X_g$), например

$$\delta = \frac{\Delta}{x_g} \cdot 100\% \approx \frac{\Delta}{x} \cdot 100\%.$$

При использовании формул, учитывающих потребление энергии приборами, методическая погрешность не входит в результат измерений:

$$а) R_x = (U_V - I_A R_A) / I_A;$$

$$б) R_x = U_V / (I_A - U_V/R_V).$$

Для нахождения максимальной погрешности результата косвенного измерения воспользуемся данными табл. 2.1 и тем, что эти погрешности некоррелированы (т.е. не влияют друг на друга):

$$\delta_{R_x'} = \pm (|\delta_i| + |\delta_M|) = \pm (\sqrt{\delta_A^2 + \delta_V^2} + |\delta_M|),$$

где $\delta_i = \pm \sqrt{\delta_A^2 + \delta_V^2}$ - инструментальная погрешность, определяемая погрешностями приборов;

δ_A, δ_V - относительные погрешности амперметра и вольтметра.

При суммировании часто используют критерий ничтожной погрешности: группа погрешностей отбрасывается, если их сумма меньше 1/3 максимальной погрешности.

Таблица 2.1

Суммирование погрешностей косвенных измерений

Функция	Относительная погрешность результата
$f = x + y + z$	$\delta_f = \pm \frac{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2 + \Delta_z^2}}{x + y + z} \cdot 100\%$
$f = x - y$	$\delta_f = \pm \frac{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}}{x - y} \cdot 100\%$
$f = \frac{x}{y}$	$\delta_f = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_y}{y}\right)^2} \cdot 100\% =$ $= \pm \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}$

Функция	Относительная погрешность результата
$f = x^n$	$\delta_f = n \cdot \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = n \delta_x$
$f = \sqrt[n]{x}$	$\delta_f = \frac{1}{n} \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = \frac{1}{n} \delta_x$
$f = \sin x$	$\delta_f = (\operatorname{ctg} x \cdot \Delta x) \cdot 100\%$
$f = \cos x$	$\delta_f = (\operatorname{tg} x \cdot \Delta x) \cdot 100\%$
$f = \operatorname{tg} x$	$\delta_f = \frac{2 \Delta x}{\sin 2x} \cdot 100\%$
$f = \operatorname{arctg} x$	$\delta_f = \frac{\Delta x}{(1+x)^2 \operatorname{arctg} x} \cdot 100\%$

При представлении результатов измерений используют следующие правила.

1. Результат измерения состоит из оценки измеряемой величины и погрешности измерения, характеризующей точность измерения.
2. Полученные числа должны оканчиваться цифрами одинаковых разрядов.
3. Погрешность выражается числом с одной или двумя значащими цифрами
4. Две значащие цифры у погрешности оставляют при более точных измерениях и при цифре старшего разряда, равной или меньшей трех.

Такое представление погрешностей основано на том, что они определяют лишь интервал, в котором заключено истинное значение измеряемой величины.

Пример представления результата измерения при однократных измерениях: $R = R_x \pm \Delta R_x = 931,2 \pm 0,4 \text{ Ом}$.

Более полное описание форм представления результатов измерений, содержащих случайные погрешности и неисключенные систематические погрешности, устанавливаются ГОСТ 8.011-72 "Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений".

Порядок выполнения работы

1. Подобрать электроизмерительные приборы для измерения сопротивления заданного резистора. Напряжение сети 25 В.

2. Собрать схему рис. 2.2, а, используя магнитоэлектрический вольтметр и электромагнитный миллиамперметр. Снять показания и занести в табл. 2.2 и 2.3.

3. Заменить в схеме магнитоэлектрический вольтметр на электромагнитный и снять показания. Данные занести в табл. 2.2 и 2.3

4. Собрать схему рис. 2.2, б, используя магнитоэлектрический вольтметр и электромагнитный миллиамперметр. Снять показания и занести в табл. 2.2 и 2.3.

5. Заменить в схеме магнитоэлектрический вольтметр на электромагнитный и снять показания. Данные занести в табл. 2.2 и 2.3.

6. Записать паспортные данные приборов и, выполнив необходимые расчеты, заполнить табл. 2.4.

Таблица 2.2

Параметры измерительных приборов

Схема	Тип вольтметра	Сопротивления приборов		Нормирующие значения		Классы точности		Цена деления		Абсолютная погрешность прибора	
		$R_v, \text{ Ом}$	$R_A, \text{ Ом}$	$U_N, \text{ В}$	$I_N, \text{ мА}$	$K_v, \%$	$K_A, \%$	$C_v, \text{ В/дел}$	$C_A, \text{ мА/дел}$	$\Delta v, \text{ В}$	$\Delta_A, \text{ мА}$
а	M2004										
	э										
б	M2004										
	э										

Таблица 2.3

Результаты прямых измерений

Схема	Тип вольтметра	Отчет		Показания приборов		Результат измерений	
		$\alpha_v, \text{ дел}$	$\alpha_A, \text{ дел}$	$U_v, \text{ В}$	$I_A, \text{ мА}$	$U_v \pm \Delta v , \text{ В}$	$I_A \pm \Delta_A , \text{ мА}$
а	M2004						
	э						
б	M2004						
	э						

Таблица 2.4

Результаты расчетов косвенных измерений

$R_x',$ Ом	$R_x,$ Ом	$\delta_m,$ %	$\Delta_m,$ Ом	$\delta_{\Delta_i},$ %	$\Delta_i,$ Ом	$\delta_{R_x'},$ %	$\Delta R_x',$ Ом	Результаты измерений	
								$R_x' \pm \Delta R_x'$	$R_x \pm \Delta R_x$

Содержание отчета

1. Схемы рис. 2.2.
2. Таблицы результатов измерений и расчетов.
3. Таблица основных характеристик приборов.
4. Выводы по работе.
5. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Какие измерения называются прямыми?
2. Какие измерения называются косвенными?
3. Что называется погрешностью измерений?
4. Дайте классификацию погрешностей измерений.
5. Что такое истинное и действительное значения величин?
6. Дайте определения и приведите расчетную формулу для абсолютной, относительной, систематической, случайной, инструментальной, аддитивной, мультипликативной погрешностей измерений.
7. Каковы причины возникновения инструментальной и методической погрешностей?
8. Как рассчитываются относительная и абсолютная погрешности электроизмерительных приборов для разных условных обозначений классов точности?
9. Каким образом суммируются погрешности результатов случайных некоррелированных измерений?
10. Какие измерения называются однократными (техническими)?
11. Как следует представлять результаты однократных измерений?
12. Какая погрешность называется ничтожной?
13. Зачем вводится критерий ничтожной погрешности?
14. Какие из погрешностей табл. 2.4 могут рассматриваться как ничтожные и почему?
15. Какие существуют способы обнаружения и исключения систематической составляющей погрешности измерений?
16. Найдите в табл. 2.4 самый точный результат и объясните его.

Лабораторная работа 3

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
С МНОГОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

Цель работы: изучение на практике методики статистической оценки результатов многократных измерений случайных величин.

Оборудование и приборы

В работе используются цифровой комбинированный прибор и персональная ЭВМ.

Пояснения к работе

При многократных измерениях одной и той же величины очень часто результаты измерения отличаются друг от друга. Причина этого отличия может заключаться либо в изменении величины, либо в изменении погрешности средства измерения по определенному закону или случайным образом. В работе рассматривается измерение величины, изменяющейся случайным образом, при этом погрешность средства измерения имеет систематический характер и равномерное центрированное распределение.

Результатом многократных измерений является ряд значений измеряемой величины: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

Каждая величина этого ряда состоит из истинного значения измеряемой величины и погрешности измерения. Для оценки истинного значения в математической статистике применяют понятие математического ожидания, за которое принимается среднее арифметическое результата выборки:

$$\tilde{M}(x) = \tilde{x} = \sum_{i=1}^n C_i x_i,$$

где C_i - коэффициенты веса наблюдений, характеризующие степень доверия к каждому из них, при этом

$$\sum_{i=1}^n C_i = 1.$$

Если при измерении постоянной величины $x = const$ все наблюдения производятся в одинаковых условиях, то такие наблюдения называются равноточными и коэффициенты веса наблюдений одинаковы:

$$C_1 = C_2 = \dots = C_n = \frac{1}{n}.$$

Математическое ожидание измеряемой величины при равноточных наблюдениях определяется по формуле

$$\tilde{M}(x) = \tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Если систематическая погрешность ничтожна и ее можно пренебречь,

то результат измерения содержит истинное значение измеряемой величины и случайную погрешность измерения:

$$\tilde{x} = x_{ист} + \tilde{\Delta}.$$

Случайным отклонением v_i называют разность между результатом измерения и средним арифметическим:

$$v_i = x_i - \tilde{x}.$$

Свойства случайных отклонений следующие:

1. Алгебраическая сумма случайных отклонений равна нулю:

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

2. Сумма квадратов случайных отклонений минимальна:

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

Эти свойства используются при обработке результатов измерений: среднее арифметическое результатов измерений является эффективной оценкой, так как если взять любое другое значение, то сумма квадратов отклонений будет иметь большее значение.

При большом числе измерений дисперсия определяется следующим образом:

$$\tilde{D}_n^*(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2.$$

Эта оценка является состоятельной, но при малом числе наблюдений (менее 60) она смещена. Для устранения смещенности ее умножают на поправочный множитель Бесселя $A = n/(n-1)$:

$$\tilde{D}_n(x) = \tilde{D}_n^*(x) \cdot A = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2.$$

Состоятельная и несмещенная оценка среднеквадратического отклонения (с.к.о.) результата наблюдения равна

$$\tilde{\sigma}_n = M_k \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}.$$

Здесь M_k - коэффициент, зависящий от числа наблюдений (при $n > 60$ $M_k = 1$; при $n < 60$ M_k определяется из табл. П.1 приложения). Эта оценка несмещенная, состоятельная и эффективная. Так как среднеарифметическое результата наблюдений как результат измерения имеет случайную погрешность, то для характеристики погрешности результата измерения вводится понятие оценки с.к.о. среднеарифметического:

$$\tilde{\sigma}_x = \frac{\tilde{\sigma}_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}.$$

Оценка аномальности результата наблюдения проводится по критерию Н.В.Смирнова.

Порядок выделения аномальных результатов:

1. Составление упорядоченной выборки из полученных результатов

$$x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n.$$

2. Определение математического ожидания выборки

$$\tilde{M}(x) = \tilde{x} = \sum_{i=1}^n c_i x_i,$$

или

$$\tilde{M}(x) = \tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

3. Определение несмещенного с.к.о. результата наблюдений

$$\tilde{\sigma}_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}.$$

4. Определение значений V_1 и V_n :

$$V_1 = \frac{\tilde{x} - x_1}{\tilde{\sigma}_n}; \quad V_n = \frac{x_n - \tilde{x}}{\tilde{\sigma}_n}.$$

5. Сравнение значений V_1 и V_n с табличным значением β (табл. П.3) при заданной вероятности $P_{заг}$ уровня значимости α .

Если $V_i > \beta$, то вероятность данного результата наблюдения меньше заданной, этот результат является аномальным и должен быть исключен из ряда, в противном случае он считается нормальным и оставляется. Аналогично проверяется аномальность значения x_n .

Затем проверке на аномальность подвергается пара значений ($2, n-1$) и т.д. до тех пор, пока слева и справа вариационного ряда не появятся нормальные значения.

После исключения аномальных результатов определяются окончательные значения

$$\tilde{x}, \tilde{D}_n(x), \tilde{\sigma}_n, \tilde{\sigma}_x.$$

После этого строится эмпирическое распределение (гистограмма), для чего определяется размах величины x :

$$B_x = x_n - x_1.$$

Весь размах B_x делится на m равных интервалов. Ширина каждого интервала δ_x . В качестве δ_x можно выбрать пену деления измерительного прибора. Количество интервалов рекомендуется $m = 20 \dots 30$. Увеличение числа интервалов позволяет более полно учесть все особенности эмпирического распределения. Вместе с тем при чрезмерном дроб-

лени размаха θx на результате проверки могут сказаться резко отличающиеся результаты наблюдений, что приведет к снижению надежности статистического вывода о соответствии опытных данных теоретическому распределению. Рекомендуется ширину интервала θx выбирать такой, чтобы каждый из них содержал 5...10 значений результатов наблюдений, в противном случае соседние интервалы объединяются.

При неизвестной цене деления средства измерения число m можно определить, исходя из объема выборки n :

$$m = E[0,04n], \quad 50 < n < 100;$$

$$m = E[1 + 3,32 \lg n], \quad 100 \leq n < 200;$$

$$m = E[4\sqrt{(n-1)^2}], \quad n \geq 200;$$

где E - означает целую часть числа в скобках.

После выборки m и θx размах θx делится на интервалы и определяется число попаданий результатов наблюдений в каждый интервал (эмпирическая частота) n_j .

Для $j = 1, 2, \dots, m$ коэффициенты веса определяются по формуле

$$c_j = \frac{n_j}{n}.$$

Эти коэффициенты веса отличаются от c_j тем, что характеризуют частоту (степень доверия) не одного, а группы наблюдений, попавших в рассматриваемый интервал.

По окончании расчета строится эмпирическое распределение

$$\hat{v} = \frac{n_j}{n} = f(x).$$

Проверка согласия экспериментального распределения с теоретическим (проверка гипотезы о законе распределения) выполняется согласно ГОСТ II.006-74 "Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим".

При проверке гипотезы о законе распределения применяются критерии А.Н. Колмогорова α , К. Пирсона χ^2 (хи - квадрат), Мизеса-Смирнова ω^2 и др.

Если число наблюдений $15 < n < 50$, то для проверки гипотезы о нормальности распределения рекомендуется применение составного критерия. Уровень значимости α при этом обычно принимается от 10 до 2%.

При числе наблюдений $n < 15$ проверка гипотезы не производится. При $n > 50$ применяется критерий χ^2 Пирсона или ω^2 Мизеса-Смирнова, при $n > 100$ используется критерий Колмогорова или χ^2 Пирсона.

Составной критерий состоит из двух проверок.

$$\text{Критерий 1: } d_{1-\alpha_1/2} < \tilde{d} \leq d_{\alpha_1/2},$$

где $d_{1-\alpha_1/2}$ и $d_{\alpha_1/2}$ - квантили распределения, определяются по табл. П.2 исходя из числа наблюдений n и $\alpha_1/2$; $1-\alpha_1/2$, где α_1 - заданный уровень значимости критерия 1. Значение \tilde{d} представляет собой отношение абсолютного значения отклонения среднего арифметического к смешанной оценке с.к.о. результата наблюдений:

$$\tilde{d} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$\text{Критерий 2: } (x_i - \bar{x}) > Z_{P/2} \cdot \tilde{\sigma}_x,$$

где $Z_{P/2}$ - верхняя квантиль распределения нормированной функции Лапласа, соответствующая вероятности $P_{\text{гов}}/2$ (табл. П.4).

Для проверки по критерию 2 задаются уровнем значимости α_2 , для которого из табл. П.5 находят $P_{\text{гов}}$ и m в соответствии с числом наблюдений n .

Если число разностей, удовлетворяющих неравенству критерия 2, не более m , то распределение не противоречит нормальному.

Если оба критерия соблюдаются, то суждение о соответствии эмпирического распределения нормальному считается правильным.

Уровень значимости составного критерия

$$\alpha \leq \alpha_1 + \alpha_2.$$

Нормальное распределение имеет вид:

$$p(x) = \frac{1}{\tilde{\sigma}_n \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[x - \tilde{M}(x)]^2}{\tilde{\sigma}_n^2}\right).$$

Для проверки согласия опытных данных с нормальным законом распределения может применяться критерий асимметрии и эксцесса. Проверка соответствия эмпирического распределения нормальному заключается в нахождении значений и соотношений оценок асимметрии, эксцесса и их дисперсий:

$$\tilde{A} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right]^{3/2}};$$

$$\tilde{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right]^2} - 3;$$

$$D(\tilde{A}) = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} \approx \sqrt{\frac{6}{n}}$$

$$D(\tilde{E}) = \sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)n}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}} \approx \sqrt{\frac{24}{n}}$$

Эмпирическое распределение считается нормальным, если одновременно выполняются два соотношения:

$$\tilde{A} - 3\sqrt{D(\tilde{A})} \leq 0; \quad \tilde{E} - 3\sqrt{D(\tilde{E})} \leq 0.$$

Окончательное представление результата измерения производится по ГОСТ 8.011-72 "Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений".

При технических измерениях, когда число наблюдений мало $2 \leq n \leq 20$ размер доверительного интервала увеличивается и находится по формуле:

$$\tilde{\Delta}' = t_{pn} \tilde{\sigma}_x,$$

где t_{pn} - коэффициент распределения Стьюдента (определяется по табл. П.6 приложения, исходя из числа наблюдений и заданной вероятности $P_{гов}$).

При $n \rightarrow \infty$ (практически $n \geq 20$) усеченное распределение Стьюдента приближается к нормальному и доверительный интервал можно приближенно определить по формуле:

$$\tilde{\Delta} = K \tilde{\sigma}_x,$$

где K - табличное значение (таблица), зависящее от задаваемой вероятности.

Теоретический коэффициент K для закона нормального распределения случайных погрешностей

Доверительная вероятность	0,5	0,68	0,95	0,98	0,99	0,997
Значения коэффициента	0,667	1,00	2,00	2,33	2,58	3,00

Относительная квадратичная погрешность результата измерения

$$\delta_{\tilde{x}} = \frac{\tilde{\sigma}_x}{\tilde{x}} \cdot 100\%$$

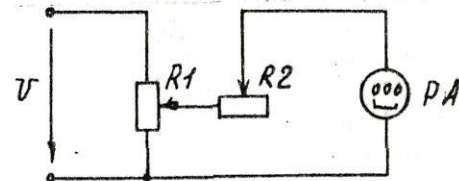
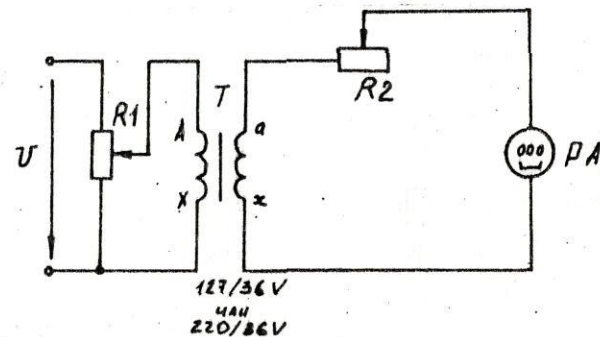
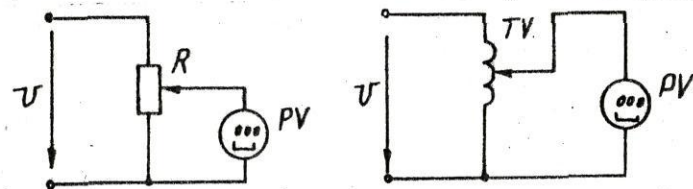
Результат измерения с интервальной оценкой с помощью распределения Стьюдента записывается в виде:

$$\tilde{x}, \Delta x \text{ от } -\tilde{\Delta} \text{ до } \tilde{\Delta}, P_{гов}$$

Пример программы для ПЭВМ, составленный на алгоритмическом языке Бейсик, приведен в приложении.

Порядок выполнения работы

1. По указанию преподавателя собрать одну из схем рисунка.
2. Через одинаковые промежутки времени измерить n раз одно и то же значение напряжения или тока (значение n задается преподавателем).



3. Обработать результаты измерений в соответствии с изложенной методикой.

4. Составить программу для ПЭВМ для одного из пунктов:

- 4.1. Сортировка случайных значений по возрастанию.
- 4.2. Отбраковка аномальных результатов наблюдений при заданном β .
- 4.3. Расчет значения коэффициента M_k из табл. П.1.
- 4.4. Расчет значения коэффициента β из табл. П.3.
- 4.5. Экстраполяция функции $\beta(n)$ для $n > 20$.
- 4.6. Расчет и построение гистограммы.
- 4.7. Проверка соответствия эмпирического распределения теоретическому по составному критерию.
- 4.8. Расчет квантилей распределения d по табл. П.2
- 4.9. Расчет верхней квантили распределения $2\rho/2$ по табл. П.4.
- 4.10. Расчет числа разностей по табл. П.5.
- 4.11. Проверка соответствия распределения с помощью критерия асимметрии и эксцесса.
- 4.12. Расчет коэффициента распределения Стьюдента по табл. П.6.

Содержание отчета

1. Исходные значения результатов измерений.
2. Результаты расчета (с пояснениями).
3. Листинг программы и результаты расчета на ЭВМ.
4. Перечень использованных измерительных приборов.
5. Выводы по работе.
6. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Какая погрешность называется случайной?
2. Какие факторы могут влиять на изменение измеряемой величины?
3. Что называется вариационным рядом?
4. Как и зачем производится исключение аномальных результатов?
5. Что характеризует уровень значимости α в табл. П.3?
6. Как строится гистограмма и что она характеризует?
7. Запишите формулу для нормального распределения при отсутствии и наличии эксцесса и асимметрии.
8. Что характеризуют вероятности в табл. П.4-П.6?
9. Какие существуют формы представления результатов измерений?
10. Что характеризует доверительная вероятность в представлении результата измерений?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Цель работы: ознакомление с конструкцией и выполнение проверки однофазного индукционного счетчика активной энергии.

Оборудование и приборы

В работе используются фазорегулятор трехфазный, автотрансформатор лабораторный, установленные на стендах, трансформатор напряжения, 127/36 В, амперметр, фазометр, ваттметр и поверяемый однофазный индукционный счетчик активной энергии и секундомер.

Содержание работы

1. Определение относительной погрешности измерения активной энергии методом ваттметра и секундомера.
2. Проверка счетчика на самоход.
3. Определение порога чувствительности счетчика.

Пояснения к работе

Одноэлементный однофазный индукционный счетчик используется для учета активной энергии в однофазных цепях переменного тока. Основными элементами такого счетчика являются параллельный 1 и последовательный 2 электромагниты, алюминиевый диск 3, постоянный магнит 8 и счетный механизм с червячной передачей 7 (рисунок). Обмотка последовательного электромагнита выполняется из небольшого числа витков относительно толстого провода и включается в цепь последовательно с нагрузкой. Обмотка параллельного электромагнита имеет большое число витков тонкого провода и включается параллельно на напряжение нагрузки. Диск 3 с осью 4 установлен в опорах 5, 6.

Переменные токи, протекающие по обмоткам электромагнитов, создают переменные магнитные потоки, сдвинутые между собой во времени и смещенные в пространстве. Магнитные потоки, пересекающие алюминиевый диск, индуцируют в нем ЭДС, под действием которых в проводящем диске возникают вихревые токи. Взаимодействие вихревых токов с магнитными потоками создает вращающий момент, действующий на диск, и диск приводится во вращение.

Чтобы скорость вращения диска n была прямо пропорциональна активной мощности нагрузки $P = C \cdot n$, в счетчике создается тормозной момент при помощи постоянного магнита 8.

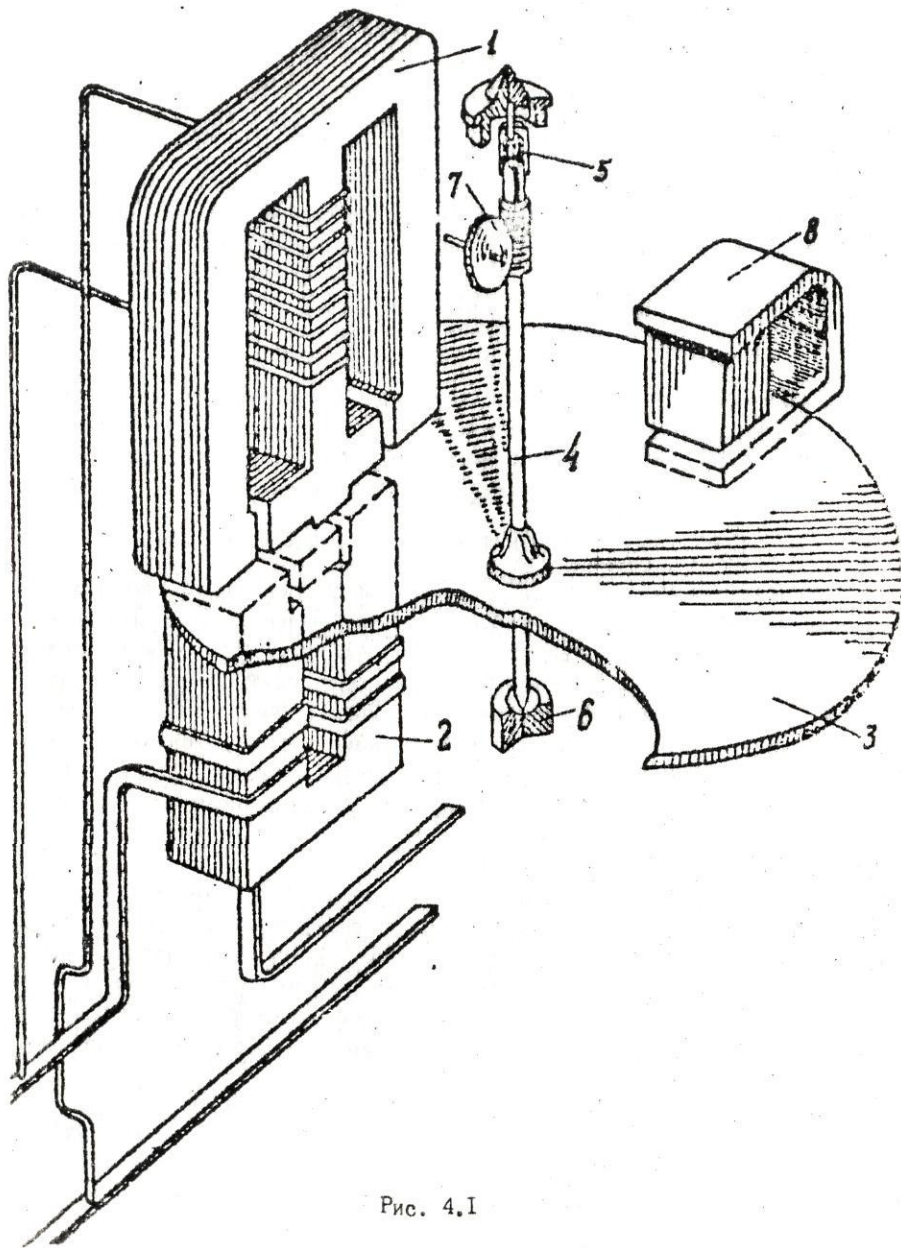


Рис. 4.1

Так как $P = C\partial \cdot n$, то активная энергия $W\partial$, потребляемая нагрузкой за время t ,

$$W\partial = \int_0^t P \cdot dt = C\partial \cdot \int_0^t n \cdot dt = C\partial N, \quad (4.1)$$

то есть активная энергия прямо пропорциональна числу оборотов диска N за время t .

Здесь $C\partial = W\partial/N$ - действительная постоянная счетчика, которая представляет собой энергию, потребляемую нагрузкой за время одного полного оборота диска.

Действительная постоянная $C\partial$ зависит от режима работы счетчика и в общем случае неизвестна. Поэтому расход энергии определяют через номинальную постоянную C_H , представляющую собой энергию, регистрируемую счетным механизмом за один оборот диска:

$$W_x = C_H \cdot N. \quad (4.2)$$

Номинальную постоянную C_H можно определить через обратную ей величину N_0 , которая называется передаточным числом и указывается на шитке счетчика (число оборотов, соответствующее 1 кВт·ч регистрируемой энергии)

$$C_H = \frac{1000 \cdot 3600}{N_0} \quad (4.3)$$

Величины N_0 , C_H зависят от конструкции счетного механизма и остаются для данного счетчика неизменными. Вследствие того, что в общем случае $C\partial \neq C_H$, измерение энергии через номинальную постоянную осуществляется с погрешностью.

Относительная погрешность счетчика

$$\delta_w = \frac{W_x - W\partial}{W\partial} \cdot 100\% = \frac{C_H - C\partial}{C\partial} \cdot 100\%. \quad (4.4)$$

Существенное влияние на правильность показаний счетчика при малых нагрузках (при малом значении тока I) оказывает момент трения в счетном механизме и опорах подвижной части счетчика. Этот момент направлен навстречу вращающему и поэтому учтенная счетчиком энергия будет меньше израсходованной. Для уменьшения погрешности счетчика от действия момента трения во всех типах счетчиков создается дополнительный вращающий момент. Этот момент называется компенсационным. При эксплуатации счетчика в ряде случаев компенсационный момент превышает момент трения и диск счетчика начинает вращаться даже при токе $I = 0$, т.е. когда потребитель энергию не расходует.

Вращение диска счетчика под действием напряжения, поданного на зажимы параллельной цепи, и при отсутствии тока в последовательной цепи называется самоходом. Диск счетчика не должен совершать более одного полного оборота при отсутствии тока в последовательной цепи и при любом напряжении от 80 до 110% от номинального.

Порог чувствительности счетчика S - это минимальное значение тока, выраженное в процентах от номинального, при котором диск счетчика начинает и продолжает непрерывно вращаться при номинальном напряжении, $\cos \varphi$ и токе, не превышающем значений, указанных в табл. 4.1:

$$S = \frac{I_{\min}}{I_{\text{ном}}} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

Основные требования, предъявляемые ГОСТ 6570-75 к однофазным счетчикам, представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные требования, предъявляемые к счетчикам

Коэффициент мощности $\cos \varphi$	Ток в % от номинального значения	Пределы допускаемой относительной погрешности, %			
		Для классов точности			
		0,5	1,0	2,0	2,5
1,0	От 5 до 10	1,0	2,0	2,5	-
	От 10 до 20	-	-	-	3,5
	От 20 до максимального значения включительно	0,5	1,0	2,0	2,5
0,5 при индуктивной нагрузке	От 10 до 20	1,3	2,0	2,5	-
	От 20 до максимального значения включительно	0,8	1,0	2,0	4,0
Порог чувствительности (в % от I_n) при U_n , $\cos \varphi$ и токе		0,4	0,5	0,5	1,0

Счетчики электрической энергии подлежат проверке в соответствии с ГОСТ 14767-69, который предусматривает проверку одним из следующих методов:

1) метод ваттметра и секундомера, при котором определяют действительное значение электрической энергии

$$W_a = P \cdot t, \quad (4.6)$$

вызавшей вращение диска счетчика на заданное число оборотов;

2) метод образцового счетчика, при котором показания поверяемого счетчика сравнивают с показаниями образцового счетчика.

В настоящей работе однофазный счетчик поверяется методом ваттметра и секундомера.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, предназначенными для выполнения настоящей работы. Записать их паспортные данные.

2. Определить постоянную счетчика C_n по формуле (4.3). По формуле $P = UI \cos \varphi$ вычислить показания образцового ваттметра при U_n , $\cos \varphi = 1$ и тока $I = 10, 20, 50, 75, 100\%$ от I_n . Аналогично вычислить показания образцового ваттметра при U_n , $\cos \varphi = 0,5$ и $I = 20, 50, 75, 100\%$ от I_n (U_n и I_n указаны на шите счетчика).

Определить цену деления шкалы ваттметра и записать вычисленные значения мощности в делениях шкалы ваттметра

Результаты вычислений записать в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Результаты вычислений и измерений

$\cos \varphi$	I, % от I_n	I, A	U_n , B	Вычислено, P		Измерено		Вычислено		
				Вт	Деления шкалы ваттметра	N, об	t, е	См, $\frac{В \cdot с}{об}$	Сд, $\frac{В \cdot с}{об}$	δ , %
1,0	10						2			
	20						4			
	50						10			
	75						15			
0,5	100						20			
	20						2			
	50						5			
	75						8			
	100						10			

3. Собрать схему рис. 4.2, обратив особое внимание на правильность включения генераторных зажимов счетчика, ваттметра и фазометра.

4. Установить при $U = U_{\text{ном}}$, $I = I_{\text{ном}}$ фазорегуляторы по фазометру $\cos \varphi = 1$. Поддерживая $U = U_{\text{ном}}$ и $\cos \varphi = 1$, устанавливать ток таким, чтобы показания ваттметра соответствовали данным табл. 4.2. Для каждого значения нагрузки измерить время, за которое

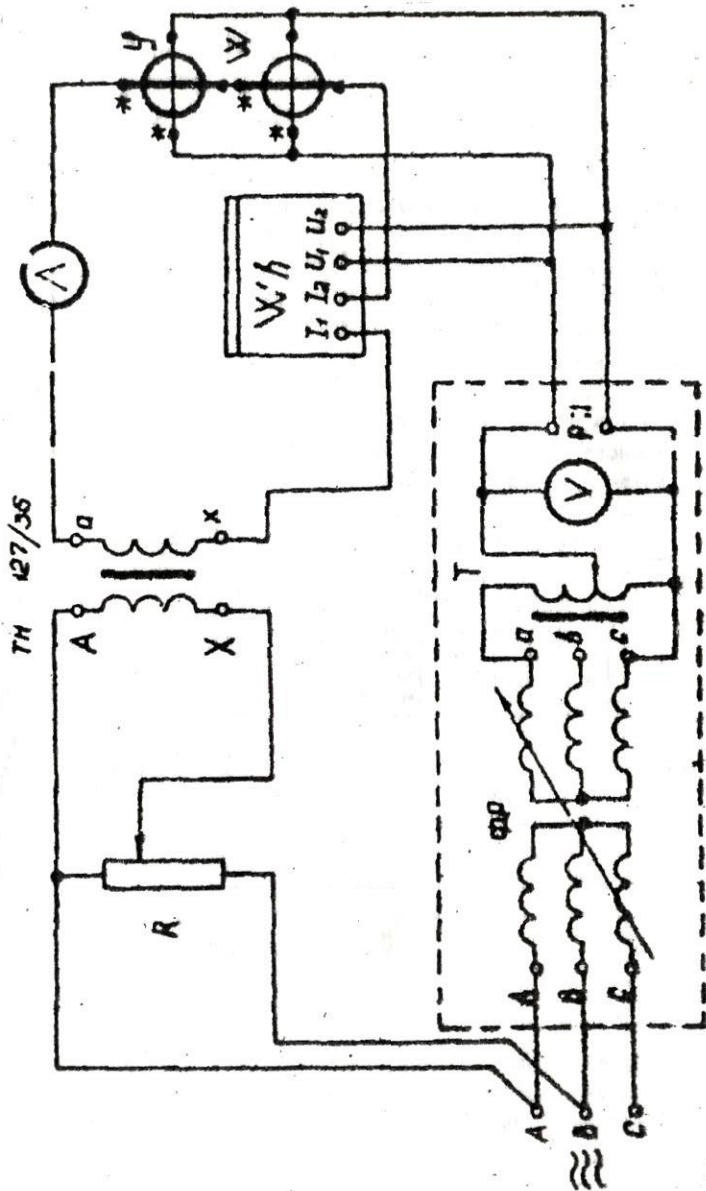


Рис. 4.2

диск счетчика делает указанное в табл. 4.2 число оборотов N .

5. Установить при $U = U_{ном}$, $I = I_{ном}$ фазорегулятором по фазомеру $\cos \varphi = 0,5$.

Поддерживая $U = U_{ном}$ и $\cos \varphi = 0,5$ устанавливать ток таким, чтобы показания ваттметра соответствовали данным табл. 4.2. Для каждого значения нагрузки измерить время, за которое диск счетчика делает указанное в табл. 4.2 число оборотов N .

6. Проверить счетчик на самоход. Установить при $U = 1,01 U_{ном}$ и $I = I_{ном}$. Разомкнуть цепь тока и определить число оборотов диск счетчика за 1 мин.

7. Определить порог чувствительности. Установить при $U = U_{ном}$ и $I = I_{ном}$ $\cos \varphi = 1$. Уменьшить ток нагрузки до 0. Включить дополнительно в цепь тока миллиамперметр ($I_m = 200 \text{ mA}$). Плавно увеличивать ток в цепи, добиться начала непрерывного движения диска. Определить S .

Содержание отчета

1. Схема проверки однофазного счетчика.
2. Таблицы результатов измерений и вычислений.
3. Результаты проверки на самоход.
4. Результаты определения чувствительности.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Взаимодействием каких потоков образуется вращающийся момент счетчика?
2. Объясните, с помощью чего и как создается тормозной момент счетчика?
3. Что называется самоходом счетчика?
4. При каких условиях проводится проверка счетчика на самоход?
5. Что называется чувствительностью счетчика?
6. Какими методами производится проверка счетчиков на соответствие классу точности?
7. Как определяется номинальная постоянная счетчика $S_{ном}$ по паспортным данным?
8. По какой формуле задается класс точности счетчиков?

Лабораторная работа 5

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Цель работы: изучение схем измерения активной мощности в трехфазных цепях, включение ваттметров через измерительные трансформаторы.

Оборудование и приборы

В работе используются электродинамические ваттметры, измерительный трансформатор тока, реостат, лабораторный стенд с трехфазной активной нагрузкой.

Содержание работы

1. Измерить активную мощность трехфазной симметричной и несимметричной нагрузки по схеме одного ваттметра.
2. Измерить активную мощность трехфазной симметричной и несимметричной нагрузки по схеме двух ваттметров.
3. Измерить мощность нагрузки ваттметром, включенным через измерительный трансформатор тока.

Пояснения к работе

Измерение активной мощности в трехфазных цепях необходимо для учета расходуемой предприятиями электроэнергии и имеет большое народнохозяйственное значение.

В зависимости от схемы включения и характера нагрузки активная мощность в трехфазных цепях измеряется по схеме одного, двух и трех ваттметров.

Схема одного ваттметра применяется только при полной симметрии, то есть при равенстве активных мощностей отдельных фаз: $P_A = P_B = P_C = P_{\Sigma}$. Один ваттметр включают так, чтобы он измерял активную мощность одной из фаз, активная мощность трехфазной цепи

$$P = 3P_{\varphi} \quad (5.1)$$

По схеме одного ваттметра недопустимо измерять мощность в трехфазной асимметричной цепи, так как это приведет к очень большой погрешности.

Схема трех ваттметров используется при несимметричной нагрузке в трехфазных цепях с нулевым проводом. Ваттметры включают так, чтобы они измеряли активные мощности отдельных фаз ($P_A \neq P_B \neq P_C$). Активная мощность трехфазной цепи в этом случае

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (5.2)$$

Схема двух ваттметров является основной при измерении активной мощности в трехфазных трехпроводных цепях независимо от характера нагрузки. Возможность измерения активной мощности трех фаз двумя ваттметрами основана на том, что сумма токов отдельных фаз трехфазной трехпроводной цепи равна нулю. Действительно, $i_A + i_B + i_C = 0$;

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A i_A + U_B i_B + U_C i_C = U_A i_A + U_B (-i_A - i_C) + U_C i_C = U_A i_A + U_C i_C$$

Переходя от мгновенных значений мощности к средним, получим:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + \varphi_A) + U_{BC} I_C \cos(30^\circ - \varphi_C) = P_1 + P_2 \quad (5.3)$$

Но $P_1 = U_{AB} I_A \cos(30^\circ + \varphi_A)$ — показание первого ваттметра, включенного по схеме рис. 5.1, а $P_2 = U_{CB} I_C \cos(30^\circ - \varphi_C)$ — показание второго ваттметра этой схемы. Это следует из векторной диаграммы рис. 5.1.

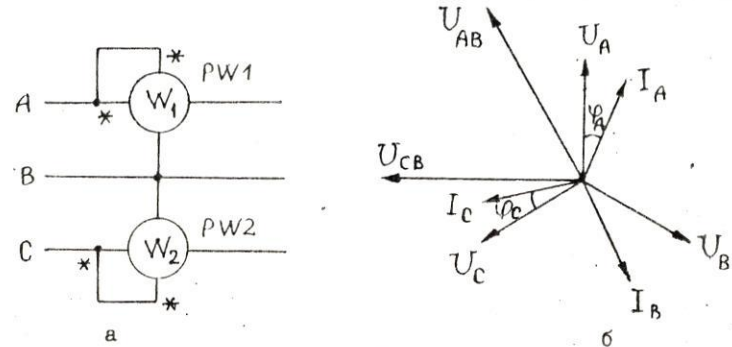


Рис. 5.1

Выражая ток i_A как $i_A = (-i_B - i_C)$ или ток i_C как $i_C = (-i_A - i_B)$, можно получить еще два уравнения, аналогичные уравнению (5.3). Таким образом, существует три схемы включения двух ваттметров, в каждой из которых последовательные токовые обмотки ваттметров могут включаться в линейные провода любых двух фаз, начала (генераторные зажимы) параллельных обмоток ваттметра присоединяются к этим же линейным проводам, а концы — к свободному линейному проводу.

При углах $\varphi > 1 \pm 60^\circ$ показания одного из ваттметров будут отрицательными (стрелка прибора уходит за нуль шкалы влево). Для получения отсчета необходимо переключить концы параллельной обмотки этого ваттметра (у лабораторного ваттметра — с помощью переключателя напряжения), а его показания взять со знаком минус.

Для получения мощности трехфазной системы показания ваттметров суммируются алгебраически

$$P = P_1 + P_2 \quad (5.4)$$

Возможность отрицательных показаний ваттметров при их правильном включении требует строгого соблюдения правильности включения генераторных зажимов параллельных обмоток ваттметра.

На практике для измерения активной мощности трехфазной цепи применяются трехфазные ваттметры. Двухэлементные трехфазные ваттметры используются в трехпроводных цепях и включаются по схеме двух ваттметров, а трехэлементные ваттметры – в трехфазных цепях с нулевым проводом по схеме трех ваттметров.

Для расширения пределов измерения ваттметры включают через измерительные трансформаторы тока и напряжения. При этом необходимо следить, чтобы токи в обмотках ваттметров после включения измерительных трансформаторов не изменяли своего направления.

Погрешность результатов измерений складывается из методических и инструментальных.

Относительная инструментальная погрешность для схемы одного ваттметра

$$\delta_{и1} = \sqrt{3\delta_w^2} = \sqrt{3}\delta_w, \quad (5.5)$$

а для схемы двух приборов

$$\delta_{и2} = \sqrt{\delta_{w1}^2 + \delta_{w2}^2}, \quad (5.6)$$

где δ_w , δ_{w1} , δ_{w2} – погрешности ваттметров, определяемые через их классы точности.

При включении ваттметра через измерительные трансформаторы инструментальная погрешность измерения мощности находится с учетом погрешностей, вносимых трансформатором тока $\delta_{тт}$ и трансформатором напряжения $\delta_{тн}$:

$$\delta_{и} = \sqrt{\delta_w^2 + \delta_{тт}^2 + \delta_{тн}^2}. \quad (5.7)$$

Абсолютная инструментальная погрешность

$$\Delta_{и} = \delta_{и} \cdot P_n / 100\%. \quad (5.8)$$

Методическая погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки обусловлена собственным потреблением мощности ваттметрами, а также схемой включения приборов.

Возможны два варианта включения обмоток ваттметра, показанные на рис. 5.2. В схеме 5.2,а параллельная обмотка ваттметра включена на напряжение, равное сумме падений напряжений на сопротивлении нагрузки и собственной этой токовой обмотке. Следовательно, показания ваттметра $P_w = I(U_n + U_{пос}) = P_n + P_{пос}$ будут завышены на величину мощности $P_{пос}$, потребляемую собственной последовательной обмоткой.

Методическая погрешность в схеме рис. 5.2,а

$$\delta_{mw} = \frac{P_{пос}}{P_n} 100\% = \frac{R_{пос}}{R_n} 100\%. \quad (5.9)$$

В схеме рис. 5.2,б ток, протекающий в последовательной обмотке прибора, равен сумме токов нагрузки и собственной параллельной обмотки. В этом случае показания прибора включают в себя мощность, потребляемую его параллельной цепью: $P_w = U(I_n + I_{пар}) = P_n + P_{пар}$, а методическая погрешность схемы 5.2,б равна

$$\delta_{mw} = \frac{P_{пар}}{P_n} 100\% = \frac{R_n}{R_{пар}} 100\%. \quad (5.10)$$

Схема рис. 5.2,б применяется для измерения мощности нагрузки, имеющей малое сопротивление, в большинстве же случаев на практике используется схема рис. 5.2,а.

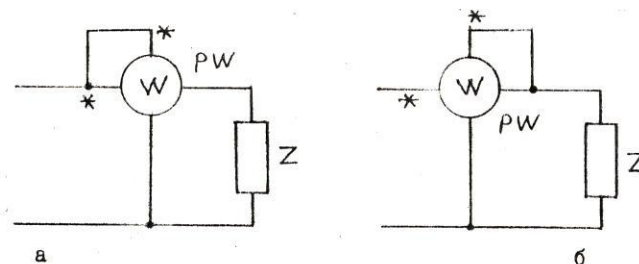


Рис. 5.2

Рассмотренная методическая погрешность возникает при включении ваттметра как в однофазную, так и в трехфазную цепь. Кроме того, при измерении мощности трехфазной нагрузки может возникнуть методическая погрешность, обусловленная схемой включения ваттметров. В схеме двух ваттметров, включенных в трехпроводную цепь (без нулевого провода), и в схеме трех ваттметров в цепи с нулевым проводом такая погрешность отсутствует. Если же измерять мощность трехфазной нагрузки одним ваттметром (или двумя ваттметрами в цепи с нулевым проводом), даже при незначительной асимметрии цепи получают большие погрешности. Методическая погрешность схемы одного прибора относительно точного метода двух приборов в трехпроводной цепи

$$\delta_{м.ск} = \frac{P_{н1} - P_{н2}}{P_{н2}} 100\%, \quad (5.11)$$

где P_{H1} и P_{H2} - мощности нагрузки, определенные соответственно в схемах одного и двух ваттметров.

Суммарная методическая погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки находится из выражения

$$\delta_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{M_{W_i}}^2 + \delta_{M_{сх}}^2}, \quad (5.12)$$

при этом погрешность, меньшая другой в три и более раз, не учитывается (n - количество ваттметров в схеме).

Методическая погрешность является систематической и должна быть исключена из результата в виде поправки:

$$-\Delta_M = -\frac{\delta_M P_H}{100\%}. \quad (5.13)$$

Результат измерения мощности трехфазной нагрузки

$$P_H = P_H' \pm \Delta_M, \quad (5.14)$$

где $P_H' = P_{H_{изм}} - \Delta_M$.

В данной работе измерения проводятся на лабораторном стенде, схема которого показана на рис. 5.3. При замкнутом ключе K сопротивления $R_{\phi 1}, R_{\phi 2}, R_{\phi 3}$ образуют трехфазную симметричную нагрузку, включенную треугольником. В одной из фаз треугольника сделан разрыв, в который включается последовательная обмотка ваттметра, измеряющего фазную мощность. При разомкнутом ключе K система переводится в режим трехфазной асимметричной цепи.

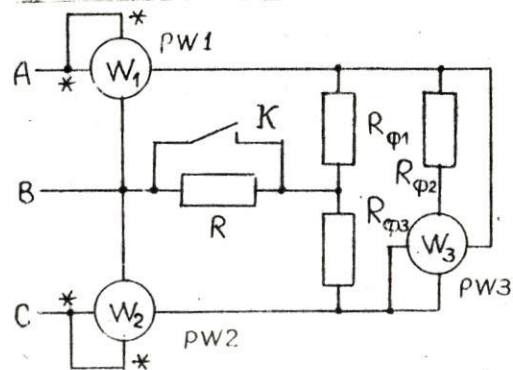


Рис. 5.3

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему измерения активной мощности двумя ваттметрами (ваттметр W_3 не включать, разорванную фазу нагрузки соединить проводником). Снять показания приборов при симметричной и несимметричной нагрузках.

2. Собрать схему измерения активной мощности трехфазной нагрузки одним ваттметром (приборы W_1 и W_2 не включать). Снять показания приборов в случаях симметричной и несимметричной нагрузок. Показания приборов занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Измерение мощности трехфазной нагрузки

Нагрузка	Показания ваттметров, Вт			Мощность нагрузки, Вт	
	P_1	P_2	P_3	Схема одного ваттметра	Схема двух ваттметров

Симметричная

Несимметричная

3. Рассчитать инструментальные и методические погрешности и записать результаты измерений мощности (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Расчет погрешностей

Нагрузка	Инструментальная погрешность $\delta_{H1}, \delta_{H2}, \delta_{H3}, \delta_H, \Delta_H$ % % % %	Методическая погрешность					Результат измерения P_H , Вт	
		$\delta_{M_{W1}}$	$\delta_{M_{W2}}$	$\delta_{M_{W3}}$	$\delta_{M_{сх}}$	$\delta_{M_{сх}}$	Схема одного ваттметра	Схема двух ваттметров

Симметричная

Несимметричная

4. Включить ваттметр для измерения мощности в однофазной цепи через измерительный трансформатор тока (рис. 5.4). Определить мощность нагрузки и погрешность ее измерения. Мощность нагрузки определяется по показанию ваттметра с учетом номинального коэффициента трансформации трансформатора тока $K_{IT} = I_{1H} / I_{2H}$:

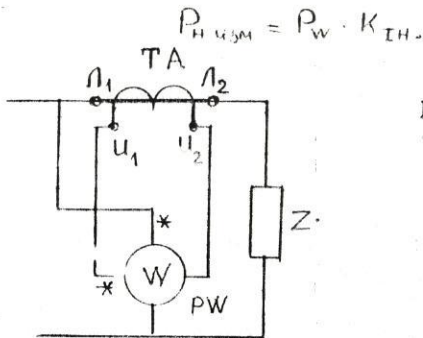


Рис. 5.4

Результаты представить в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Измерение мощности однофазной нагрузки

Показание ваттметра P_W , Вт	Коэффициент трансформа- ции $K_{ТН}$	Мощность нагрузки $P_{изм}$, Вт	Погрешность измерения					Результат измерения P_H , Вт
			$\delta_{иВ}$, %	$\delta_{ит}$, %	$\Delta_{и}$, Вт	$\delta_{мВ}$, %	$\Delta_{мВ}$, Вт	

Содержание отчета

1. Таблица использованных приборов.
2. Схемы и таблицы с результатами измерений.
3. Выводы по работе.
4. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Какие схемы измерения активной мощности трехфазной нагрузки вы знаете?
2. В каких случаях можно использовать схему одного ваттметра? Приведите примеры этих схем. Как определяется мощность нагрузки по показанию прибора?
3. В каких случаях применяется схема двух ваттметров? Приведите варианты этой схемы. Как определяется мощность нагрузки по показаниям приборов?
4. В каких случаях применяется схема трех ваттметров? Как включаются ваттметры в этой схеме? Как находится мощность нагрузки?
5. Почему в схеме двух ваттметров при правильном включении приборов показания одного из них могут быть отрицательными? Что нужно делать, если стрелка ваттметра отклоняется за нуль шкалы влево?

6. Почему при измерении активной мощности нагрузки двумя ваттметрами требуется строгое соблюдение правильности включения генераторных зажимов обмоток?

7. От чего зависит и как определяется инструментальная погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки?

8. От чего зависит и как определяется методическая погрешность измерения мощности трехфазной нагрузки?

9. Как находится результат измерения?

10. С какой целью ваттметры включают через измерительные трансформаторы? Приведите пример схемы включения. Как определяется мощность нагрузки в этом случае? Влияет ли включение измерительных трансформаторов на погрешность измерения?

Лабораторная работа 6

ОДИНАРНЫЕ МОСТЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: ознакомление с конструкцией моста Р333 и методикой измерения сопротивлений.

Оборудование и приборы

В работе используются мост Р333, набор сопротивлений, многопредельный вольтметр.

Содержание работы

1. Ознакомиться с конструкцией измерительного моста Р333 и инструкцией по эксплуатации.
2. Измерить 5 сопротивлений по двухзажимной схеме и определить чувствительность моста.
3. Измерить два малых сопротивления по двух- и четырехзажимной схемам измерения и определить погрешность измерения малых сопротивлений по двухзажимной схеме измерения.

Пояснения к работе

Мостами называются приборы сравнения, предназначенные для измерения сопротивлений или величин, функционально с ними связанных. В основу такого прибора положена мостовая измерительная схема. Мостовые схемы получили большое распространение в технике электрических измерений благодаря высокой точности и чувствительности. Мостовые цепи делятся на четырехплечие и многоплечие: двухзажимная схема включения измеряемого сопротивления; четырехзажимная схема включения измеряемого сопротивления.

На рис. 6.1 показана простейшая мостовая цепь - четырехплечий (одинарный) мост постоянного тока. Точки a , b , c и d называются вершинами моста; ветви ab , bc , cd и ad - плечами моста; ветвь ac - диагональю питания; ветвь bd - измерительной диагональю.

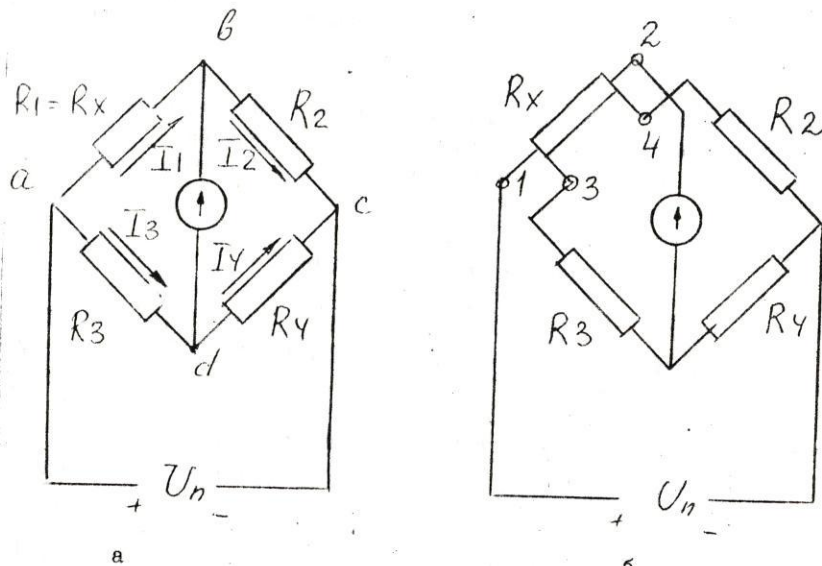


Рис. 6.1

Мостовые цепи обладают одним важным свойством - при определенном соотношении сопротивлений плеч отсутствуют токи и напряжения в измерительной диагонали при любых значениях U_n . Такое состояние моста называется состоянием равновесия, а соотношение плеч моста, при котором мост уравновешен, - условием равновесия моста. В уравновешенных мостах в диагональ включается нулевой указатель (гальванометр, микроамперметр, наноамперметр).

Мост постоянного тока приводят в состояние равновесия путем изменения сопротивления одного плеча моста. В момент равновесия потенциалы точек b и d равны. Следовательно, падение напряжения на первом и третьем, а также на втором и четвертом плечах моста также равны.

Так как ток в нулевом указателе отсутствует, то, следовательно, $I_1 = I_2$, $I_3 = I_4$. Получим условие равновесия четырехплечьевого (одинарного) моста (рис. 6.1, а)

$$R_1 / R_2 = R_3 / R_4$$

или

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \quad (6.1)$$

Таким образом, при равновесии моста произведения сопротивлений противоположных плеч равны между собой.

Если известны значения сопротивлений любых трех плеч уравновешенного моста, то из условия равновесия всегда можно определить значение четвертого плеча.

Пусть $R_1 = R_x$, тогда

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_4} \quad (6.2)$$

Обычно такой мост приводится в равновесие путем регулировки сопротивления R_3 . Отношение сопротивлений R_2/R_4 в уравнении равновесия называется масштабным множителем, его значение выбирается равным 10^n , где n - целое положительное или отрицательное число (возможно $n=0$). В этом случае третье плечо моста R_3 называется плечом уравновешивания, а второе R_2 и четвертое R_4 - плечами отношения. С помощью плеч отношения выбирается диапазон измерения моста.

Измерения с помощью уравновешенного моста называются нулевым методом измерения.

Диапазон измеряемых мостом сопротивлений ограничен как сверху, так и снизу. Сверху диапазон одинарного моста ограничен сопротивлением изоляции и чувствительностью нулевого указателя и для обычных мостов составляет $10^6 - 10^8$ Ом. Применение герметизированных сопротивлений из литого микропровода в стеклянной изоляции и нулевых указателей с усилителями позволяет расширить верхний предел измерения до 10 Ом.

Нижний предел измерения одинарного моста ограничен влиянием сопротивлений подводящих проводов R_n и переходных контактов R_k , которые вызывают погрешность:

$$\delta = \frac{\sum (R_n + R_k)}{R_x} \cdot 100\%$$

Так как сопротивления проводов и контактов составляют порядка 0,001 и 0,01 Ом, то уже при измерении R_x порядка 1 Ом эти погрешности составляют несколько процентов. В ряде случаев эти погрешности недопустимы.

Область измеряемых одинарным мостом малых сопротивлений можно расширить путем перехода к четырехзажимной схеме включения измеряе-

мого сопротивления. В этом случае на панели моста для присоединения R_x имеются четыре зажима (рис. 6.1, б). При таком присоединении R_x сопротивление провода от R_x к зажиму 3 входит в сопротивление плеча R_3 , а сопротивление провода от R_x к зажиму 4 - в сопротивление плеча R_2 . Значения R_2 и R_3 в такой схеме выбираются достаточно большими, чтобы влиянием сопротивления $\Sigma(R_2 + R_3)$ можно было пренебречь. Сопротивления проводов от зажимов R_x к зажимам 1 и 2 входят соответственно в сопротивления диагоналей моста.

Четырехзажимное включение малых сопротивлений позволяет изменять сопротивления до $10^{-4} \Omega$. Таким образом, общий диапазон измерения одинарного моста составляет от 10^{-4} до $10^8 \Omega$.

Для более точных измерений малых сопротивлений широкое применение получили шестиплечие (двойные) мосты постоянного тока.

Кроме одинарных и двойных мостов, применяются так называемые универсальные мосты, которые могут работать как по схеме одинарного, так и по схеме двойного моста.

Важным свойством моста, характеризующим его эксплуатационные качества, является его способность обнаруживать малые изменения измеряемой величины, т.е. его чувствительность. Измерения при помощи уравновешенных мостов относятся к области высокочувствительных нулевых методов.

При использовании в качестве нулевого индикатора магнитоэлектрического гальванометра абсолютная чувствительность моста постоянного тока

$$S_M = \frac{\Delta \alpha}{\Delta R} \quad (6.3)$$

где $\Delta \alpha$ - отклонение подвижной части гальванометра;
 ΔR - абсолютное изменение регулируемого плеча от его значения при равновесии моста.

На практике удобно оценивать чувствительность моста к относительному изменению сопротивления

$$S'_M = \frac{\Delta \alpha}{\Delta R/R_3 \cdot 100} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta R \cdot 100} \cdot R_3 \quad (6.4)$$

Наибольшая чувствительность одинарного моста постоянного тока достигается при $R_x = R_2, R_3 = R_4$.

При помощи моста Р333 производят измерения по двухзажимной и четырехзажимной схемам. В табл. 6.1 приведены характеристики моста.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией измерительного моста Р333. По табличке, прикрепленной с внутренней стороны на крышке моста, ознакомиться со схемой и краткой конструкцией по эксплуатации прибора и определить его технические характеристики.

Таблица 6.1

Основные характеристики моста Р333

Измеряемое сопротивление	Класс точности	Рекомендуемые множители n	U, B	Схема включения
5 $10^{-3} - 0,0999$	5	0,001	1,5	4-зажимная
1 $10^{-1} - 0,9999$	1,0			
1 - 9,999	0,5	0,001	1-1,5	
10 - 99,99	0,5	0,01	1,5-3	
100 - 999,9	0,5	0,1	3-10	2-зажимная
1000 - 9999		1		
$10^4 - 99990$	0,5	10	10-16	
$10^5 - 999900$	5	100	10-16	

2. Подготовить мост для измерения сопротивлений по двухзажимной схеме включения рис. 6.1, а, для чего необходимо:

зажимы Б разомкнуть;

переключатель схемы поставить в положение "МВ";

замкнуть зажимы 1 и 2 с помощью перемычки;

подключить измеряемое сопротивление к зажимам 2 и 3;

установить переключатель плеч отношений на соответствующий множитель n согласно табл. 6.1 в зависимости от предполагаемой величины R_x ;

установить на четырех декадах плеча уравновешивания ожидаемое сопротивление.

3. Собрать схему (рис. 6.2), питание моста осуществляется от наружного источника. Напряжение питания моста выбирается согласно табл. 6.1 в зависимости от предполагаемой величины измеряемого сопротивления.

4. Нажать кнопку "вкл. Г". Если при таком нажатии наблюдается резкий отброс стрелки, необходимо более точно выбрать множитель n , чтобы отклонение стрелки не превышало 0,2-0,4 дел от нулевой отметки. После этого зафиксировать кнопку "вкл. Г". Нажать кнопку "грубо" и производить уравнивание схемы движками переключателей декад по тех пор, пока стрелка гальванометра не станет на нуль.

Нажать кнопку "точно" и окончательно уравновесить мост. Определить R_x по положениям переключателей декад и записать в табл. 6.2.

5. Определить чувствительность моста. При всех нажатых кнопках уравниваемого моста вращением переключателей младших декад добиться отклонения стрелки гальванометра на 5 делений ($\Delta \alpha = 5$). По положениям переключателей определить $R_{неур}$ и записать в табл. 6.2. Все кнопки отжать.

Вычислить $R_x = n \cdot R_{ур}$; $\Delta R = R_{ур} - R_{неур}$; S'_m , S_m - соответственно по формулам (6.4) и (6.5). Результаты расчетов записать в табл. 6.2.

6. Аналогично произвести все измерения и вычисления еще для 3 сопротивлений.

Таблица 6.2
Измерение сопротивлений по двухзажимной схеме

Характеристика сопротивлений	n	U , В	$R_{ур}$, Ом	$R_{неур}$, Ом	R_x , Ом	ΔR , Ом	$\Delta \alpha$, дел	S_m , дел/Ом	S'_m , дел/Ом
R_x , Ом									

7. Подготовить мост для измерения сопротивлений по четырехзажимной схеме включения (схему питания моста не разбирать), для чего необходимо:

- перемычку, соединяющую зажимы 1 и 2, отсоединить;
- измеряемое сопротивление присоединить к зажимам 1-4 с помощью четырех проводников (согласно схеме рис. 6.3).

8. Процесс уравнивания и подсчет результатов измерения производить согласно п. 4. Результаты записать в табл. 6.3.

9. По результатам измерения R_x и по заданным длине L и диаметру d проволочных сопротивлений рассчитать удельное сопротивление

$$\rho = R_x \cdot (S/L),$$

где S - сечение провода.

Расчеты записать в табл. 6.3.

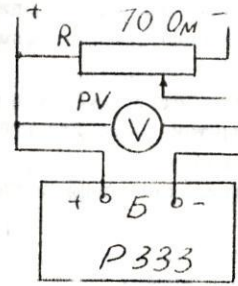


Рис. 6.2

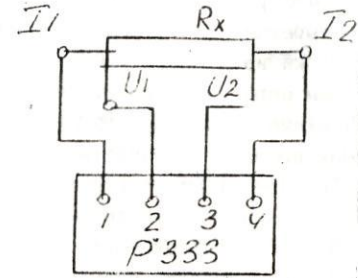


Рис. 6.3

Измерить те же малые сопротивления по двухзажимной схеме, для чего мост подготовить согласно п. 3; зажимы 1 и 2 измеряемых сопротивлений подключить соответственно к зажимам 2 и 3 моста; произвести измерения.

Рассчитать погрешности измерения малых сопротивлений по двухзажимной схеме, приняв за действительное значение величину измеренного сопротивления по четырехзажимной схеме включения:

$$\delta_2 = \frac{R_{x2} - R_{x4}}{R_{x4}} \cdot 100\%$$

Результаты измерений и вычислений записать в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Измерение малых сопротивлений

Геометрические размеры сопротивлений d , мм L , мм S , мм ²	n	U , В	Четырехзажимная схема			Двухзажимная схема		
			$R_{ур4}$, Ом	R_{x4} , Ом	ρ , Ом·мм	$R_{ур2}$, Ом	R_{x2} , Ом	δ_2 , %

Содержание отчета

1. Четырехплечный мост постоянного тока.
2. Таблицы измерений и вычислений.
3. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Условие равновесия моста постоянного тока?
2. Каким путем практически добиваются выполнения условия равновесия моста?

3. Чем ограничена сверху величина сопротивлений, измеряемых односторонним четырехплечим мостом? Приведите формулу погрешности с учетом сопротивления изоляции.

4. Чем ограничена снизу величина измеряемых сопротивлений по двухзажимной схеме? Приведите формулу погрешности с учетом сопротивлений подводных проводов и сопротивлений контактов.

5. За счет каких факторов четырехзажимная схема измерения расширяет предел измерения сопротивлений?

6. Что такое абсолютная чувствительность моста?

7. Как практически определить чувствительность моста?

Лабораторная работа 7

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель работы: ознакомление с методами и техникой измерения сопротивления заземления.

Оборудование и приборы

В работе используются: прибор М-416, макет заземления, амперметр, вольтметр, источник тока.

Содержание работы

1. Измерить сопротивление заземления методом амперметра и вольтметра.
2. Измерить сопротивление заземления с помощью зонда.
3. Измерить сопротивление заземления с помощью М-416.

Пояснения к работе

Заземлением называется преднамеренное соединение с землей металлических частей электрических установок, нормально не находящихся под напряжением, посредством заземляющих проводников.

Конструктивными элементами заземления являются заземлители - металлические проводники, находящиеся в земле. Электрооборудование соединяют с заземлителями заземляющими проводниками. Совокупность заземлителя и заземляющих проводников называется заземляющим устройством.

Сопротивление заземляющего устройства в любое время года согласно ГОСТ 12.1.030-81 должно быть не более 0,5-10 Ом.

Измерение сопротивления заземления имеет ряд особенностей:

а) электроды заземлителей во влажном слое земли образуют гальваническую пару;

б) при прохождении тока через электроды происходит поляризация, что увеличивает сопротивление заземления;

в) наличие в земле блуждающих токов, которые могут наводить в заземляющих проводах паразитную ЭДС;

г) все эти ЭДС не отличаются постоянством и, суммируясь, могут исказить результаты измерений.

Измерение сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра.

Для выполнения измерений необходимо иметь не менее трех заземлений.

Падение приложенного к заземлителям R_1 и R_2 (рис. 7.1) напряжения происходит по кривой $OABO$.

Наибольшее падение напряжения и плотность тока имеют место в зоне заземлителей радиусом 10 м. На остальном протяжении между R_1 и R_2 сопротивление слоя земли практически принимается равным нулю.

Таким образом к заземлителям R_1 и R_2 приложено напряжение $U_{12} = U_1 + U_2$. Следовательно, измеряя ток и напряжение, можно измерить

$$R_{12} = \frac{U_{12}}{I_{12}} = R_1 + R_2.$$

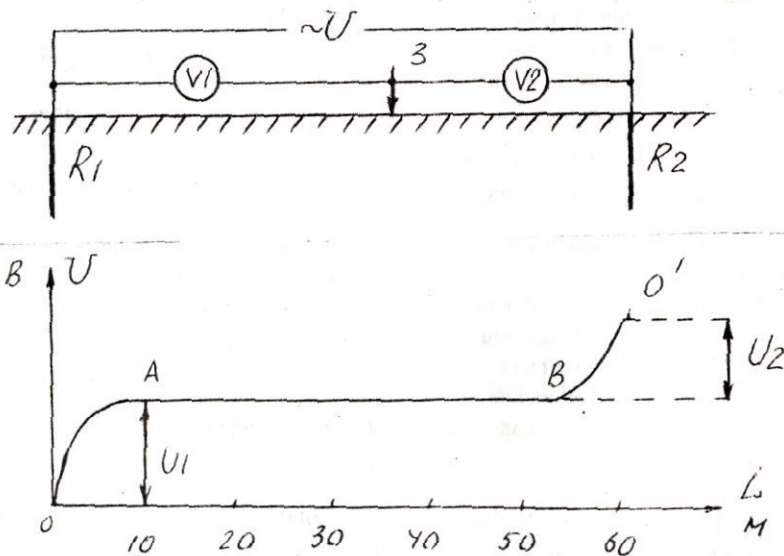


Рис. 7.1

Произведя аналогичным способом еще два измерения, получим три уравнения с тремя неизвестными, правые части которых есть результаты измерений:

$$\begin{aligned} R_1 + R_2 &= U_{12} / I_{12} = R_{12}; \\ R_1 + R_3 &= U_{13} / I_{13} = R_{13}; \\ R_2 + R_3 &= U_{23} / I_{23} = R_{23}. \end{aligned} \quad (7.1)$$

Решая систему (7.1), получим

$$\begin{aligned} R_1 &= (R_{12} + R_{13} - R_{23}) / 2; \\ R_2 &= (R_{12} + R_{23} - R_{13}) / 2; \\ R_3 &= (R_{23} + R_{13} - R_{12}) / 2. \end{aligned} \quad (7.2)$$

Измерение сопротивления заземления с помощью зонда

Если в месте измерения сопротивления заземления нет трех заземлений и заземлители расположены на расстоянии 50-70 м друг от друга, возможно измерение напряжений U_1 и U_2 (рис. 7.1) с помощью специального электрода-зонда. Зонд - металлический стержень, погружаемый в землю на небольшую глубину на участке АВ. Тогда вольтметр V_1 будет измерять напряжение U_1 , а V_2 - напряжение U_2 . Следовательно,

$$R_1 = U_1 / I_{12}; \quad R_2 = U_2 / I_{12}.$$

Измерение сопротивления заземления с помощью прибора М-416

В приборе применяется компенсационный метод измерения заземления с использованием вспомогательного заземлителя и зонда.

На лицевой панели прибора (рис. 7.2) расположены:

"П" - ручка переключения предела измерений;

"Р" - ручка реохорда;

"В" - кнопка включения прибора;

четыре зажима для подключения объекта измерения;

шкала реохорда;

миллиамперметр.

Прибор имеет четыре диапазона измерений: 0,1...10 Ом; 0,5-50 Ом; 2...200 Ом; 10...1000 Ом.

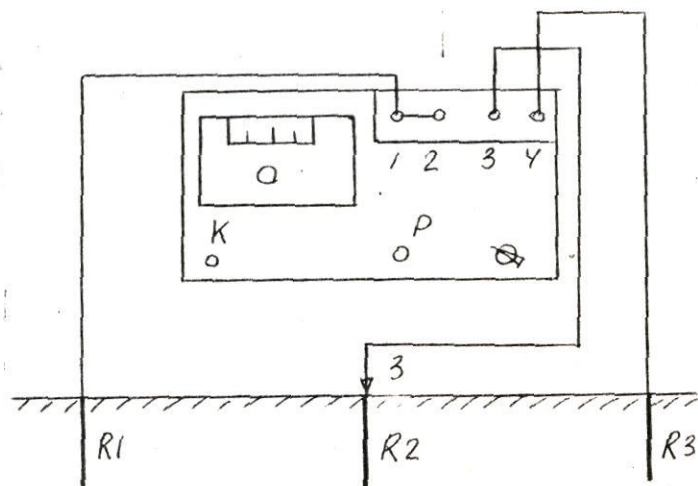


Рис. 7.2

Порядок выполнения работы

1. Последовательно собирая схему (рис. 7.3), измерить и записать в табл. 7.1 значения I_{12} и U_{12} ; I_{13} и U_{13} ; I_{23} и U_{23} . Вычислить R_{12} ; R_{13} ; R_{23} ; R_1 ; R_2 ; R_3 . Данные занести в табл. 7.1.

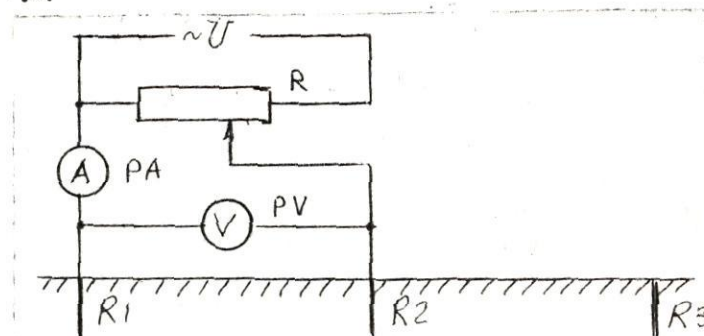


Рис. 7.3

2. Последовательно собирая схему (рис. 7.4), измерить и записать в табл. 7.2 значения I_{12} и U_1 ; I_{12} и U_2 ; I_{23} и U_3 . Вычислить R_1 ; R_2 ; R_3 . Данные занести в табл. 7.2.

Таблица 7.1

Определение сопротивлений заземлений
методом амперметра и вольтметра

$I_{12},$	$U_{12},$	$R_{12},$	$I_{13},$	$U_{13},$	$R_{13},$	$I_{23},$	$U_{23},$	$R_{23},$	$R_1,$	$R_2,$	$R_3,$
А	В	Ом	А	В	Ом	А	В	Ом	Ом	Ом	Ом

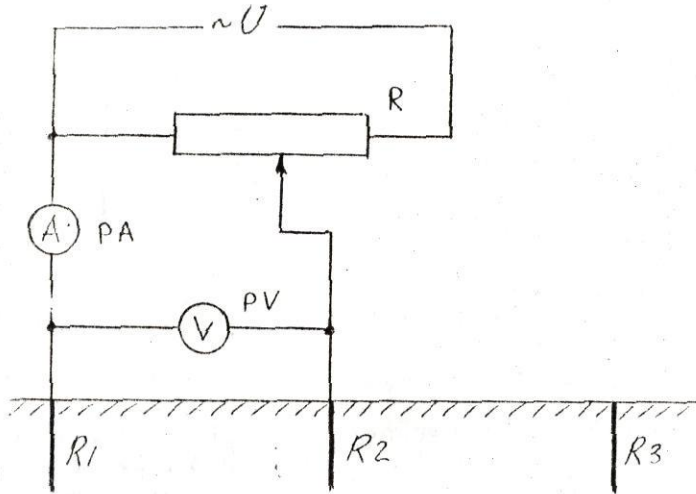


Рис. 7.4

Таблица 7.2

Измерение сопротивлений заземлений с помощью зонда

$I_{12},$	$U_1,$	$R_1,$	$I_{12},$	$U_2,$	$R_2,$	$I_{23},$	$U_3,$	$R_3,$
А	В	Ом	А	В	Ом	А	В	Ом

3. Подключить прибор М-416 к макету заземлителя согласно рис. 7.2. Переключатель "П" установить в положение "Х1". Кратковременно нажать кнопку "К". Если стрелка индикатора не зашкаливает, то, удерживая кнопку "К" нажатой, ручкой "Р" установить стрелку индикатора равновесия на нулевую отметку. Если стрелка индикатора зашкаливает, изменить предел измерения с помощью переключателя "П" (последовательно "Х5", "Х20", "Х100").

Результат измерения равен произведению показания шкалы реохорда на соответствующий множитель. Данные измерений занести в табл. 7.3.

Измерение повторить для измерения сопротивлений R_2 и R_3 .

Таблица 7.3

Измерение сопротивлений заземлений с помощью прибора М-416

Метод измерения	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$
Метод трех измерений			
Метод одного измерения			
Прибором М-416			

Содержание отчета

1. Схемы для измерения сопротивления заземления мостом амперметра и вольтметра, с помощью зонда.
2. Таблицы измерений.
3. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как распределяется падение напряжения между двумя заземлениями при протекании тока?
2. Какое число опытов необходимо произвести для определения сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра? Почему?
3. Что такое зонд?
4. Какое число опытов необходимо произвести для определения сопротивления заземления методом зонда?
5. Можно ли определить сопротивление одиночного заземления? Какие условия нужно выполнить?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Значение коэффициента M_k в зависимости от числа наблюдений

$n-1$	M_k	$n-1$	M_k	$n-1$	M_k
1	1,253	10	1,025	19	1,013
2	1,128	11	1,023	20	1,013
3	1,085	12	1,021	25	1,010
4	1,064	13	1,019	30	1,008
5	1,051	14	1,018	35	1,007
6	1,042	15	1,017	40	1,006
7	1,036	16	1,016	45	1,006
8	1,032	17	1,015	50	1,005
9	1,028	18	1,014	60	1,004

Таблица П.2
Значения квантилей распределения d
при уровнях значимости α

Объем выбор- ки n	$(\alpha/2) \cdot 100\%$		$(1-\alpha/2) \cdot 100\%$	
	1%	5%	95%	99%
16	0,9137	0,8884	0,7236	0,6829
21	0,9001	0,8786	0,7304	0,6950
26	0,8901	0,8686	0,7360	0,7040
31	0,8826	0,8625	0,7404	0,7110
36	0,8769	0,8578	0,7440	0,7167
41	0,8722	0,8540	0,7470	0,7216
47	0,8682	0,8508	0,7496	0,7256
51	0,8648	0,8481	0,7518	0,7291

Таблица П.3
Предельное значение β для случая неизвестного
генерального среднего квадратичного значения $\tilde{\sigma}_n$

Объем выбор- ки	Предельное значение β при уровне значимости α			
	0,100	0,075	0,050	0,025
3	1,15	1,15	1,15	1,15
4	1,42	1,44	1,46	1,48
5	1,60	1,64	1,67	1,72
6	1,73	1,77	1,82	1,89
7	1,83	1,88	1,94	2,02
8	1,91	1,96	2,03	2,13
9	1,98	2,04	2,11	2,21
10	2,03	2,10	2,18	2,29
11	2,09	2,14	2,23	2,36
12	2,13	2,20	2,29	2,41
13	2,17	2,24	2,33	2,47
14	2,21	2,28	2,37	2,50
15	2,25	2,32	2,41	2,55
16	2,28	2,35	2,44	2,58
17	2,31	2,38	2,48	2,62
18	2,34	2,41	2,50	2,66
19	2,36	2,44	2,53	2,68
20	2,36	2,46	2,56	2,71

Таблица П.1
Значения интеграла $P_{\text{гов}}(Z_r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{Z_r} e^{-z^2/2} dz$

Z_r	$P_{\text{гов}}$	Z_r	$P_{\text{гов}}$	Z_r	$P_{\text{гов}}$	Z_r	$P_{\text{гов}}$
0,00	0,0000	0,65	0,2422	1,29	0,4015	1,94	0,4728
0,02	0,0080	0,66	0,2454	1,31	0,4049	1,96	0,4750
0,04	0,0160	0,68	0,2517	1,32	0,4066	1,98	0,4761
0,06	0,0239	0,70	0,2580	1,34	0,4099	2,00	0,4772
0,08	0,0319	0,72	0,2642	1,36	0,4131	2,04	0,4793
0,10	0,0398	0,74	0,2703	1,38	0,4162	2,08	0,4812
0,12	0,0478	0,76	0,2764	1,40	0,4192	2,12	0,4830
0,14	0,0557	0,78	0,2823	1,42	0,4222	2,16	0,4846
0,16	0,0636	0,80	0,2881	1,44	0,4251	2,20	0,4861
0,18	0,0714	0,82	0,2939	1,46	0,4279	2,24	0,4875
0,20	0,0793	0,84	0,2995	1,48	0,4306	2,28	0,4887
0,22	0,0871	0,86	0,3051	1,50	0,4332	2,32	0,4898
0,24	0,0948	0,88	0,3106	1,52	0,4357	2,36	0,4909
0,26	0,1026	0,90	0,3159	1,54	0,4382	2,40	0,4918
0,28	0,1103	0,92	0,3212	1,56	0,4406	2,44	0,4927
0,30	0,1179	0,94	0,3264	1,58	0,4429	2,48	0,4934
0,32	0,1255	0,96	0,3315	1,60	0,4452	2,52	0,4941
0,34	0,1293	0,98	0,3365	1,62	0,4474	2,56	0,4948
0,35	0,1368	0,99	0,3389	1,64	0,4495	2,60	0,4953
0,37	0,1443	1,01	0,3438	1,66	0,4515	2,64	0,4959
0,39	0,1517	1,03	0,3485	1,68	0,4535	2,68	0,4963
0,41	0,1591	1,05	0,3531	1,70	0,4554	2,72	0,4967
0,43	0,1664	1,07	0,3577	1,72	0,4573	2,76	0,4971
0,45	0,1736	1,09	0,3621	1,74	0,4591	2,80	0,4974
0,47	0,1808	1,11	0,3665	1,76	0,4608	2,84	0,4977
0,49	0,1879	1,13	0,3708	1,78	0,4625	2,88	0,4980
0,51	0,1950	1,15	0,3749	1,80	0,4641	2,92	0,4982
0,53	0,2019	1,17	0,3790	1,82	0,4656	2,96	0,4985
0,57	0,2157	1,19	0,3830	1,84	0,4671	3,00	0,49865
0,59	0,2224	1,23	0,3907	1,86	0,4688	3,40	0,49966
0,61	0,2291	1,25	0,3944	1,90	0,4713	3,80	0,49978
0,63	0,2357	1,27	0,3980	1,92	0,4726	5,00	0,5

Таблица П.5

Значения P из уравнения

$$1 - \sum_{k=0}^{k=m} C_n^k (1-p)^k p^{n-k} = \alpha_2$$

для вычисления

$$Z_{P/2}$$

Число результатов наблюдений n	Число разностей m	α_2 , 100 %			
		1%	2%	5%	10%
10	1	0,98	0,98	0,96	
11-14	1	0,99	0,98	0,97	
15-20	1	0,99	0,99	0,98	
21-22	2	0,98	0,97	0,96	
23	2	0,98	0,98	0,96	
24-27	2	0,98	0,98	0,97	
28-32	2	0,98	0,98	0,97	
33-35	2	0,99	0,98	0,98	
36-49	2	0,99	0,99	0,98	

Таблица П.6

Значение коэффициента t_{pn} распределения Стьюдента при заданной доверительной вероятности $P_{доб}$

Объем выборки n	Коэффициент распределения Стьюдента при вероятности $P_{доб}$					
	0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,000	6,31	12,7	31,8	63,7	63,7
3	0,816	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
4	0,765	2,35	2,35	4,54	5,84	13,0
5	0,741	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	0,727	2,02	2,57	3,36	4,03	6,86
7	0,718	1,94	2,49	3,14	3,71	5,96
8	0,711	1,90	2,36	3,00	3,50	5,40
9	0,706	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	0,703	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
12	0,697	1,80	2,20	2,72	3,10	4,49
14	0,694	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
16	0,691	1,75	2,13	2,60	2,99	4,07
18	0,689	1,74	2,11	2,57	2,90	3,96

Объем выборки	Коэффициент распределения Стьюдента при вероятности $P_{доб}$					
	0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
20	0,688	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
25	0,684	1,71	2,06	2,49	2,80	3,74
31	0,683	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
41	0,681	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
61	0,678	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
121	0,677	1,65	1,98	2,36	2,62	3,37
∞	0,674	1,64	1,96	2,33	2,58	3,29

Программа для ЭВМ "Агат"

```

1  REM *****
2  REM * ПРОГРАММА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ *
3  REM * РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ *
4  REM * (С) КОРНИЕНКО В.П. *
5  REM * ДОНЕЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ *
6  REM * КАФЕДРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН *
7  REM *****
10  GOTO 210
12  REM ПОДПРОГРАММА РАСЧЕТА И ПЕЧАТИ МАТЕМ.ОЖИДАНИЙ,
    Я, ДИСПЕРСИИ И С.К.О.
15  N = 0
20  FOR I = K TO N
30  B = B + A(I)
40  NEXT I
50  M = B / N
55  PRINT
60  PRINT "МАТЕМ.ОЖИДАН.=";M
70  B = 0
80  FOR I = K TO N
90  B = B + (A(I) - M) ^ 2
100  NEXT I
110  D = B / (N - K)
120  PRINT "ДИСПЕРСИЯ=";D
130  SN = 1.013 * SQRT (B / (N - K))
140  SX = SN / SQRT (N - K + 1)
150  PRINT "С.К.О.=";SN
160  PRINT "С.К.О.СР.АРИФМ.=";SX
170  RETURN
175  REM ПОДПРОГРАММА ПЕЧАТИ МАССИВА
180  FOR I = K TO N
190  PRINT A(I)
200  NEXT I
205  RETURN
210  DIM A(20)
215  REM ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МАССИВА ИЗ 20 ПЕР.
    ЕМЕННЫХ

```


СО Д Е Р Ж А Н И Е

Правила внутреннего распорядка в лаборатории информационно-измерительной техники.....	3
Правила техники безопасности.....	3
Оформление отчетов о выполненных лабораторных работах.....	5
Условные обозначения на шкалах приборов.....	5
Лабораторная работа 1. Поверка технических приборов.....	10
Лабораторная работа 2. Обработка результатов прямых и косвенных измерений.....	18
Лабораторная работа 3. Обработка результатов прямых измерений с многократными наблюдениями.....	25
Лабораторная работа 4. Исследование однофазного счетчика электрической энергии.....	33
Лабораторная работа 5. Измерение активной мощности.....	39
Лабораторная работа 6. Одинарные мосты постоянного тока.....	47
Лабораторная работа 7. Измерение сопротивления заземления.....	51
Приложение.....	59

Учебное издание

Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
"Промышленная электроника и информационно-
измерительная техника в электроэнергетике"
Раздел "Основы метрологии и аналоговые
электроизмерительные приборы"
(для студентов специальностей 0301-0303)

Составители:	Васильев Леонид Александрович Корниенко Валерий Прокофьевич Добрянский Борис Ильич
Редактор	И.Д.Бородина
Корректор	Н.А.Демьянко
Техн. редактор	С.Х.Аниськова