

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ**

КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ»

Методические указания

К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ
«ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»
для студентов специальности
«Электромеханические системы автоматизации и электропривод»
дневной формы обучения

Рекомендовано до перезатвердження
кафедрою ЕСА

(назва кафедри)
Протокол № 34 від 11.06. 2012 р.
(протокол, номер, дата)

В.О Зав. кафедрою ЕСА
(назва кафедри)
_____ О.М. Наливайко
(підпис, ініціали, прізвище)

КРАМАТОРСЬК 2008

УДК 621.317.7

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу ”Основы метрологии и электрические измерения” (для студентов специальности “*Электромеханические системы автоматизации и электропривод*”) / дневной формы обучения. Сост. И.П.Кутковой. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 80 с.

Приведены указания к выполнению лабораторных работ №1...№7, цели и программы лабораторных исследований, общие указания и расчетные формулы, принципиальные схемы лабораторных установок и их описания, методика обработки экспериментальных данных, рекомендуемая литература и контрольные вопросы.

Составитель

И.П.Кутковой, ассистент

Ответственный за выпуск

А.М. Наливайко, доц.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения	4
<i>Правила выполнения студентами лабораторных работ в лаборатории</i>	4
<i>Электроизмерительные приборы</i>	8
Лабораторная работа №1. Поверка градуировки амперметра по образцовому прибору	12
Лабораторная работа №2. Поверка градуировки вольтметра по образцовому прибору	18
Лабораторная работа №3. Измерение сопротивлений по методу одинарного моста и определение его чувствительности	23
Лабораторная работа №4. Измерение сопротивлений методом амперметра и вольтметра	29
Лабораторная работа №5. Измерение и реактивной мощности в цепи трехфазного тока при симметричной нагрузке	34
Лабораторная работа №6. Поверка счетчиков активной энергии	42
Лабораторная работа №7. Измерение сопротивления изоляции электрических установок	55
<i>Приложение А.</i> Форма бланка для выполнения лабораторных работ	67
<i>Приложение Б.</i> Техника безопасности при выполнении лабораторных работ	68
<i>Приложение В.</i> Условные буквенные обозначения основных расчетных величин	70
<i>Приложение Г.</i> Условные графические обозначения в электрических схемах	72
<i>Приложение Д.</i> Указания, относящиеся к поверке амперметров, вольтметров и ваттметров	74
<i>Приложение Е.</i> Допустимые условия работы элементов электрических цепей	77
Список рекомендуемой литературы	79

Общие сведения

Правила выполнения студентами лабораторных работ

в лаборатории

1 Для выполнения лабораторных работ студенческая группа делится на бригады.

2 Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, бригада обязана заранее ознакомиться с её содержанием. Следует повторить или изучить теоретический материал, относящийся к работе, выяснить цели и задачи, составить проект выбора аппаратуры, дающей необходимую точность измерения, и регулирующих устройств, обеспечивающих регулировку тока или напряжения.

3 Студенты должны заблаговременно готовиться к предстоящему занятию в лаборатории.

4 Схема установки и таблицы наблюдений заносятся заблаговременно в специальный бланк для выполнения лабораторной работы (см. приложение А).

5 Студенты, явившиеся на занятия, опрашиваются преподавателем для выявления степени подготовленности их к выполнению лабораторных работ и разъяснения неясных для них мест.

6 Студенты, не подготовившиеся к работе, в лабораторию не допускаются.

7 Все студенты, приступающие к работе в лаборатории, обязаны ознакомиться с правилами по технике безопасности (см. приложение Б) и строго выполнять их.

8 Вся экспериментальная часть работ выполняется студентами в полном соответствии с приведенными описаниями непосредственно под руководством преподавателя при соблюдении правил по технике безопасности.

9 Перед началом проведения опытов студенты на рабочем месте знакомятся с экспериментальной установкой, приборами, аппаратами, машинами и т.п. и записывают их технические данные в протокол испытания, а затем начинают сборку схемы.

10 Приступая к опыту, надо расположить на стенде измерительную аппаратуру и регулирующие устройства так, чтобы схема была наиболее простой и наглядной, с удобной регулировкой тока, напряжения и чтобы по возможности было исключено влияние магнитных и электрических полей на приборы.

11 В сборке схемы принимают участие все члены бригады, а преподаватель следит и дает необходимые указания студентам при выполнении ими этого весьма важного этапа работы в лаборатории.

12 При сборке схемы вначале нужно соединить последовательные цепи, начиная на одном зажиме источника тока и заканчивая на другом, а затем - параллельные цепи. Когда схема собрана, необходимо убедиться в плотности всех зажимов и правильности установки движков реостатов и других регулирующих устройств, проверить нулевые положения стрелок на шкалах приборов и лишь после разрешения руководителя включать ток в схему.

13 Студент, включающий ток в схему, должен предупредить об этом остальных членов бригады и внимательно следить за поведением амперметров и других измерительных приборов. Если при включении рубильника показания амперметра резко возрастают, что свидетельствует о недопустимо большом токе в цепи, необходимо быстро выключить рубильник и предупредить об этом руководителя или лаборанта.

14 После включения тока без записи показаний приборов следует произвести необходимую регулировку в схеме и, только убедившись в возможности получения нужных режимов работы, приступить к измерениям.

15 Во время измерений непосредственно во время выполнения опыта необходимо очень тщательно, с достаточной точностью, определяемой классом прибора, производить отсчеты по приборам и немедленно, без всяких пересчетов, записывать показания технических приборов в тех единицах, которые обозначены на шкалах, а в случае применения многопредельных приборов – в делениях шкалы, переводя их при обработке результатов опыта в соответствующие электрические единицы.

16 При испытании сложных электрических установок с большим количеством измерительной аппаратуры нужно делать одновременный отсчет по всем приборам по команде одного из членов бригады, подающего сигнал.

17 При медленно изменяющихся процессах в электрических цепях, длительность которых менее 1,5-2 мин, отсчеты по приборам также производятся по команде через каждые 5-10 с.

18 В случае каких-либо переключений в схеме последняя должна быть еще раз проверена преподавателем.

19 Студентам запрещается резать проводники, вскрывать приборы и переносить их и другие предметы с одного стенда на другой без разрешения руководителя или лаборанта.

20 В случае порчи прибора или регулирующего устройства студенты обязаны немедленно сообщить об этом руководителю или лаборанту.

21 По окончании опыта производятся подсчеты, от руки строятся кривые, затем опытные данные и результаты вычислений показываются руководителю. После подписи черновых подсчетов нужно разобрать схему и привести в порядок рабочее место.

22 Если результаты наблюдений будут признаны неудовлетворительными, то опыт необходимо повторить.

23 На основе черновых записей к следующему занятию оформляется отчет о работе по соответствующей форме (см. приложение А). Отчет выполняется чернилами с применением чертежных инструментов, аккуратно. Небрежно выполненные отчеты руководитель возвращает без проверки, такие работы подлежат переделке.

24 Отчет должен быть составлен настолько ясно, чтобы каждый знакомящийся с ним четко представлял себе цель поставленной работы, тип экспериментальной установки, методику измерения отдельных величин, порядок проведения работы, расчет отдельных электрических величин, окончательные результаты испытаний, сгруппированные в таблицы и отображенные графиками, а также мог оценить выводы, сделанные на основе полученных экспериментальных данных.

25 При составлении отчета студенты должны применять в формулах и электрических схемах условные технические обозначения, рекомендуемые ГОСТ (см. приложения В и Г).

26 Электрические схемы, векторные диаграммы и графические зависимости следует вычерчивать карандашом, применяя чертежные принадлежности: линейку, угольник, лекало и циркуль.

27 При построении экспериментальных кривых студенты должны на координатных осях, отмеченных буквами, условно обозначающими откладываемые величины с указанием их размерности, нанести деления, проставить около них числовые значения откладываемых величин в выбранном масштабе (в 1 см – $1 \cdot 10^n$, $2 \cdot 10^n$, $5 \cdot 10^n$ единиц, где n – целое положительное или отрица-

тельное число), нанести экспериментально полученные точки в виде небольших кружков и провести плавную линию, которая проходила бы возможно ближе к точкам, полученным из опыта (рис. 1).

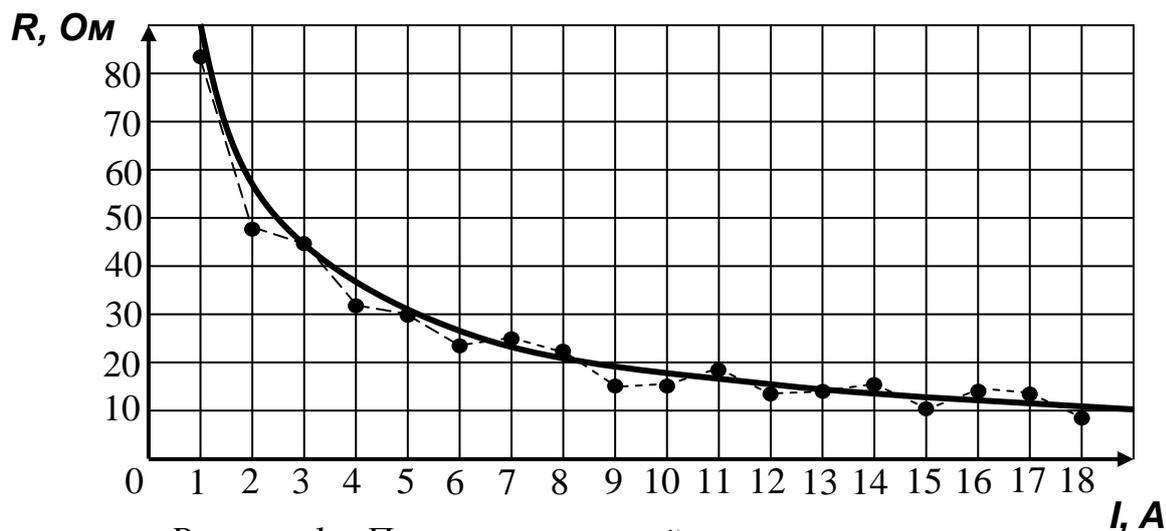


Рисунок 1 – Построение кривой по опытным точкам

28 В тех случаях, когда экспериментальная зависимость не выражает определенного закона изменения исследуемых величин, например кривые поправок к показаниям электроизмерительных приборов, то экспериментально найденные точки следует соединить между собой отрезками прямой линии.

29 При нанесении на график нескольких кривых опытные и расчетные точки, относящиеся к разным кривым, как и сами кривые, обозначаются различно.

30 Особое внимание студенты должны уделить составлению заключения по выполненной работе, где в полном соответствии с поставленными перед ними вопросами они должны сопоставить результаты экспериментальных исследований с известными им соотношениями из курса "Основы метрологии и электрические измерения", указав причины наблюдаемых отклонений.

31 При испытаниях различных электроустановок студентам необходимо сделать выводы о наиболее экономичных режимах их работы и дать рекомендации по целесообразному условию эксплуатации отдельных элементов электрооборудования.

32 Полностью законченный и оформленный отчет представляется преподавателю к следующему лабораторному занятию, без чего студент не допускается к выполнению очередного задания.

33 При сдаче отчета преподаватель опрашивает студента в объеме материала законченной работы, после чего работа засчитывается.

34 Студенты, выполнившие все предусмотренные графиком лабораторные работы и сдавшие своевременно отчеты по ним, получают зачет по курсу "Основы метрологии и электрические измерения".

35 Пропущенные работы выполняются в дополнительное время.

36 Запрещается находиться в лаборатории у других стендов, производить какие-либо переключения на щитах, включать цепи питания.

37 В лаборатории запрещается находиться в верхней одежде, громко разговаривать.

Электроизмерительные приборы

Для проведения различных измерений в электрических цепях применяется специальная измерительная аппаратура.

Электроизмерительные приборы подразделяются на приборы непосредственной оценки, показывающие численное значение измеряемой ими величины, и приборы сравнения, при помощи которых измеряемая величина сравнивается с соответствующей ей известной величиной, являющейся образцовой мерой.

Приборы сравнения обладают большей точностью и чувствительностью, чем приборы непосредственной оценки, хотя последними выполнять процесс измерения можно проще и гораздо быстрее.

Важнейшей характеристикой любого электроизмерительного прибора является его точность.

В зависимости от точности электроизмерительные приборы делятся на классы: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0, а вспомогательные части к ним – 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

Число, характеризующее класс прибора, представляет собой величину наибольшей допустимой основной погрешности его в рабочей части шкалы, выраженной для приборов с односторонней шкалой в процентах от верхнего предела измерений прибора, для приборов с двухсторонней шкалой – в процентах от суммы пределов измерения и для приборов с, безнулевой шкалой – в процентах от разности конечного и начального значений рабочей части шкалы.

Под рабочей частью шкалы приборов с равномерной шкалой понимается вся шкала, а приборов с неравномерной шкалой – часть ее (20-100% от верхнего предела шкалы), обозначенная на ней условными знаками.

Приборы классов 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 снабжаются таблицами поправок к их показаниям, причем ни одна из них не должна превышать значения допустимой погрешности.

Приборы этих классов называются лабораторными, а приборы классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 принято называть техническими.

По условиям эксплуатации приборы и вспомогательные части к ним разделяются на группы: А – для работы в закрытых сухих отапливаемых помещениях; Б – для работы в закрытых неотапливаемых помещениях; В - для работы в полевых или морских условиях; Т – для работы в условиях сухого и влажного тропического климата.

По степени защищенности от внешних магнитных и электрических влияний приборы и вспомогательные части к ним разделяются на категории I и II, характеризуемые требованиями ГОСТ, ограничивающими величину погрешностей приборов.

По условиям механической прочности приборы и вспомогательные части к ним разделяются на: обыкновенные, обыкновенные с повышенной прочностью (ОП); устойчивые к механическим воздействиям – тряскопрочные (ТП), вибропрочные (ВП), нечувствительные к тряске (ТН), нечувствительные к вибрации (ВН), ударопрочные (УП).

Любой электроизмерительный прибор должен соответствовать роду тока, быть выбранным на необходимые пределы измерения, находиться в определенном положении по отношению к горизонтальной поверхности, и установлен в месте, где отсутствуют внешние причины, искажающие результат измерения.

Приборы, служащие для измерения тока, включаются в цепь последовательно, а приборы, измеряющие напряжение, – параллельно. Что касается более сложных приборов, измеряющих мощность, энергию, коэффициент мощности и другие электрические величины, то они включаются по специальным схемам, которые прилагаются к самим приборам.

В соответствии с ГОСТ на шкале электроизмерительного прибора приводятся: обозначение единицы измеряемой величины и класса точности, номер стандарта, условное обозначение рода тока и числа фаз, системы прибора, группы его по условиям эксплуатации, а также категории его защищенности от влияния внешних магнитных и электрических полей.

Помимо этого указывается: рабочее положение прибора, условное обозначение величины испытательного напряжения, номинальная частота и об-

ласть частот, товарный знак завода-поставщика, заводское обозначение прибора, год выпуска, заводской номер прибора, а в отдельных случаях - и ряд других величин, таких как номинальная температура, номинальный ток, номинальное напряжение и т.п.

В некоторых случаях часть обозначений на шкале может отсутствовать и находиться на корпусе и у зажимов прибора.

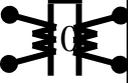
В электроизмерительных лабораториях находят применение приборы магнитоэлектрические с подвижной рамкой и с подвижным магнитом, электромагнитные и электромагнитные поляризованные, электродинамические и ферродинамические, индукционные и магнитоиндукционные, электростатические, вибрационные, тепловые и биметаллические.

Для обозначения характеристик приборов на их шкалах в соответствии с требованиями ГОСТ наносятся специальные условные обозначения. Некоторые из этих обозначений приведены в таблице 1.

Таблица 1 *Условные знаки на шкалах электроизмерительных приборов*

№ п/п	Изображение знака	Пояснение
		Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой
		Магнитоэлектрический логометр с подвижными рамками
		Электродинамический прибор
		Электродинамический логометр
		Ферродинамический прибор
		Ферродинамический логометр
		Индукционный прибор

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Изображение знака	Пояснение
	Электромагнитный прибор	
	Электромагнитный логометр	
	Электростатический прибор	
	Вибрационный прибор	
	Тепловой прибор	
14	Класс точности при нормировании погрешности в процентах от диапазона измерений, например 1,5	
		Класс точности при нормировании погрешности в процентах от длины шкалы, например 1,5
16	Горизонтальное положение шкалы	
	Вертикальное положение шкалы	
	Наклонное положение шкалы под определенным углом к горизонту, например 60°	
	Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением, например 2 кВ	
	Прибор испытанию прочности не подлежит	
	Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи по отношению к корпусу не соответствует нормам (знак выполняется красного цвета)	

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Изображение знака	Пояснение
		Внимание! Смотри дополнительные указания в паспорте и инструкцию по эксплуатации
23		Отрицательный зажим
24		Положительный зажим
25		Зажим переменного тока
26		Генераторный зажим (для ваттметров, варметров и фазометров)

Лабораторная работа №1

Поверка градуировки амперметра по образцовому прибору

Цель работы:

- 1) Поверить градуировку шкалы амперметра методом сличения с показаниями образцового прибора.
- 2) Определить абсолютные погрешности и поправки к показаниям поверяемого прибора.
- 3) Найти наибольшую приведенную погрешность поверяемого прибора.
- 4) Измерить сопротивление обмотки амперметра и вычислить мощность, потребляемую им при полном отклонении стрелки.

Основные теоретические положения

Технические амперметры классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 нуждаются в периодической поверке (приложение Д), т.е. в сравнении их показаний с показаниями более точных приборов, принимаемых за образцовые.

При поверке обычно определяются: абсолютные погрешности, поправки к показаниям прибора, приведенная погрешность и собственное потребление мощности прибором при полном отклонении стрелки.

Абсолютные погрешности ΔI амперметра определяются разностью между величинами I , указываемыми поверяемым прибором, и действительными значениями I_0 измеряемых им величин, найденными по показаниям образцового амперметра, т.е.

$$\Delta I = I - I_0. \quad (1)$$

Поправки ΔI_0 к показаниям амперметра находятся как разность между действительными значениями I_0 измеряемой величины и показаниями I поверяемого прибора, т.е.

$$\Delta I_0 = I_0 - I \quad (2)$$

и зависят от положения стрелки поверяемого прибора, т.е. $\Delta I_0 = f(I)$.

Абсолютные погрешности ΔI и поправки ΔI_0 к показаниям амперметра могут иметь как положительные, так и отрицательные значения (рис.2).

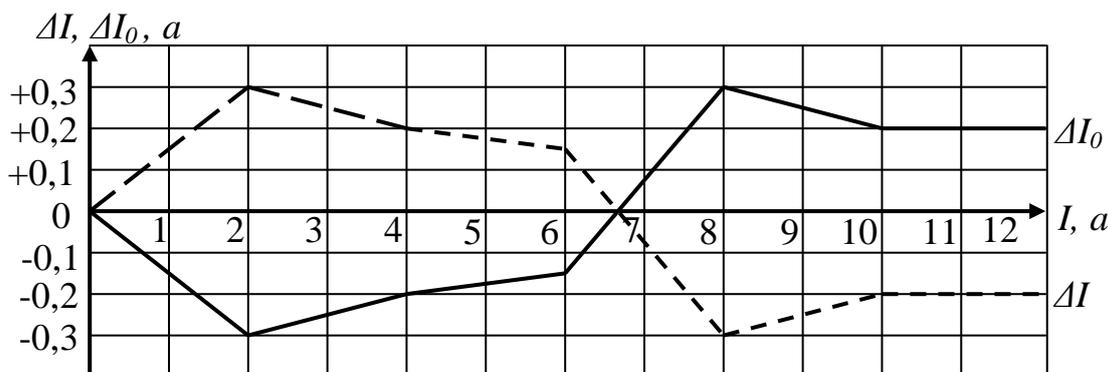


Рисунок 2 - Кривые абсолютных погрешностей ΔI амперметра и поправок ΔI_0 к его показаниям

Наибольшая приведенная погрешность $\gamma_{прив}$ амперметра выражается в процентах от верхнего предела I_H его показания с учетом поправки к нему, т.е. как

$$\gamma_{прив} = \frac{(\Delta I)_{max}}{I_H} \cdot 100 \% . \quad (3)$$

Величина $\gamma_{прив}$, подсчитанная по формуле (3) для амперметров, пригодных к эксплуатации, не должна превышать значений, установленных для данного класса поверяемого прибора.

Если это не соблюдается, то прибор должен быть отремонтирован и вновь поверен, а в случае необходимости переградуирован и даже переведен в более низкий класс.

Техника поверки амперметров по образцовым стрелочным приборам заключается в непосредственном сравнении показаний поверяемых приборов с отсчетами по аналогичным приборам более высокого класса, принимаемых в качестве образцовых.

При поверке амперметров классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 класс образцовых приборов должен быть соответственно не ниже 0,2; 0,5; 1,0; 1,5, причем верхний предел их измерения может отличаться от верхнего предела измерения поверяемого прибора не более чем на 25%.

Как правило, амперметры методом сличения поверяются на переменном токе, за исключением приборов постоянного тока и приборов постоянного и переменного тока при отсутствии образцовых приборов переменного тока.

При поверке приборов в цепях постоянного тока в качестве образцовых приборов используют приборы магнитоэлектрической, а в цепях переменного тока – электродинамической системы.

При поверке амперметров необходимо ток плавно увеличивать так, чтобы стрелка поверяемого прибора в момент отсчетов поочередно находилась на всех оцифрованных делениях шкалы до деления, отвечающего номинальному току прибора, а затем уменьшать ток до нуля и устанавливать стрелку на те же деления шкалы.

Действительное значение тока, отвечающее различным положениям стрелки поверяемого амперметра, определяется по показаниям образцового прибора:

$$I_0 = C_\alpha (\alpha + \sigma_\alpha), \quad (4)$$

где C_α - цена деления шкалы образцового амперметра, А/дел;

α - показания амперметра, дел.;

σ_α - поправка для данной отметки шкалы согласно свидетельству на образцовый амперметр, выраженная в делениях шкалы (в тех случаях, когда шка-

лы не совпадают с числовыми отметками, поправка находится путем интерполяции).

Амперметры классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 перед поверкой прогреваются номинальным током, после чего ток выключается, а стрелки амперметров устанавливаются регулировочными винтами на нулевое деление шкалы.

Амперметры электромагнитной системы могут не подвергаться предварительному нагреву.

Сопротивление обмотки поверяемого амперметра и мощность, потребляемая прибором при полном отклонении стрелки, находятся из соотношений:

$$r_A = \frac{U_A}{I_n} \quad (5)$$

и

$$P_A = U_A I_n, \quad (6)$$

где r_A - сопротивление обмотки амперметра, Ом;

U_A - падение напряжения на амперметре при полном отклонении стрелки, В;

I_n - наибольший ток, измеренный поверяемым амперметром с учетом поправки к его показанию при полном отклонении стрелки, А;

P_A - мощность, потребляемая амперметром при полном отклонении его стрелки, Вт.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1 Ознакомиться с приборами и прочим оборудованием экспериментальной установки и записать в протокол испытания их технические характеристики.

2 Расшифровать обозначения на шкалах приборов и занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Система прибора	Класс точности	Положение прибора	Вид тока	Испытательная изоляция
1								
2								

3 Собрать схему (рис.3) поверки градуировки амперметра, поставить ползунки регулировочных реостатов r_p и r'_p в положения, отвечающие их наибольшему сопротивлению, и после проверки схемы руководителем включить двухполюсный рубильник P .

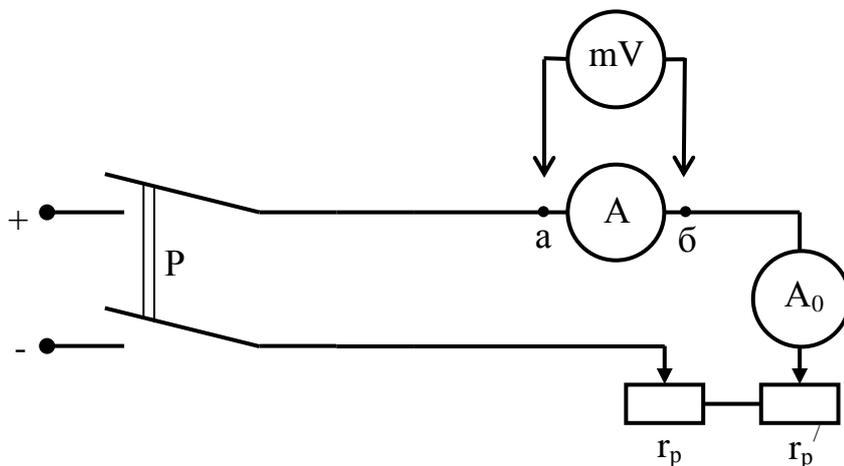


Рисунок 3 – Схема поверки градуировки амперметра

4 Медленно передвигая ползунки регулировочных реостатов, добиться полного отклонения стрелки поверяемого амперметра A , а затем в течение 3 мин. прогревать приборы током.

5 После прогрева выключить установку, регулировочными винтами установить стрелки обоих приборов на нулевые деления шкал и приступить к поверке технического амперметра на всех оцифрованных делениях шкалы при непрерывном увеличении тока до номинального и последующем уменьшении до нуля.

6 Рассчитать для всех произведенных опытов абсолютные погрешности ΔI и поправки ΔI_0 к показаниям технического амперметра и результаты расчетов объединить с данными наблюдений в таблице 3.

7 Определить наибольшую приведенную погрешность $\gamma_{прив}$ прибора, вычисления занести в таблицу 3 и дать заключение о возможности его дальнейшей эксплуатации.

8 Построить в одной координатной системе зависимости $I_0 = f(I)$ и $\Delta I_0 = f(I)$, найти по ним истинное значение номинального тока поверяемого технического амперметра при полном отклонении его стрелки. Подсоединить вольтметр к зажимам а и б (см. рис. 3), установить в цепи ток полного отклоне-

ния стрелки поверяемого амперметра и, когда она установится на конечном делении шкалы, записать показания приборов в таблицу 4.

Таблица 3

№ опыта	Данные наблюдений		Результаты вычислений		
	Показания амперметров		ΔI , А	ΔI_0 , А	$\gamma_{\text{прив}}$ %
	технического I , А	образцового I_0 , А			
1	0	0			
2					
3					
:					
11					
:					
21					

9 Вычислить величину сопротивления r_A обмотки поверяемого амперметра, а также собственное потребление им мощности P_A при полном отклонении стрелки. Результаты записать в таблицу 4.

Таблица 4

I , А	mV , мВ	r_A , Ом	P_A , Вт

Контрольные вопросы

- 1 Каких классов изготавливаются амперметры?
- 2 Как связаны между собой абсолютные погрешности и поправки к показаниям поверяемого прибора?
- 3 Какая допускается наибольшая приведенная погрешность для амперметра определенного класса?
- 4 Из каких соображений определяется необходимый класс образцового прибора?
- 5 Для чего амперметры изготавливаются с небольшим собственным сопротивлением?

6 Как изменяется мощность, потребляемая амперметром при различном отклонении стрелки?

7 Как влияет изменение окружающей температуры на амперметры магнитоэлектрической системы?

8 Как влияет изменение окружающей температуры на амперметры электромагнитной системы?

9 Как влияет изменение окружающей температуры на амперметры электродинамической системы?

10 Как ведут себя приборы магнитоэлектрической системы в цепях переменного тока?

Лабораторная работа №2

Поверка градуировки вольтметра по образцовому прибору

Цель работы:

1) Поверить градуировку шкалы вольтметра методом сличения с показаниями образцового прибора.

2) Определить абсолютные погрешности и поправки к показаниям поверяемого прибора.

3) Найти наибольшую приведенную погрешность поверяемого прибора.

4) Измерить сопротивление обмотки вольтметра и вычислить мощность, потребляемую им при полном отклонении стрелки.

Основные теоретические положения

Технические вольтметры классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 должны периодически поверяться (см. приложение Д), т.е. их показания должны сравниваться с показаниями более точных приборов, считаемых образцовыми.

При поверке обычно определяются: абсолютные погрешности, поправки к показаниям прибора, приведенная погрешность и собственное потребление мощности прибором при полном отклонении стрелки.

Абсолютные погрешности ΔU вольтметра определяются разностью между величинами U , указываемыми поверяемым прибором, и действительными

значениями U_0 измеряемых им величин, найденных по показаниям образцового вольтметра, т.е.

$$\Delta U = U - U_0. \quad (7)$$

Поправки ΔU_0 к показаниям вольтметра находятся как разность между действительными значениями U_0 измеряемой величины и показаниями U поверяемого прибора, т.е. как

$$\Delta U_0 = U_0 - U \quad (8)$$

и зависят от положения стрелки поверяемого прибора, т.е. $\Delta U_0 = f(U)$.

Абсолютные погрешности ΔU и поправки ΔU_0 к показаниям вольтметра могут иметь как положительные, так и отрицательные значения (рис.4).

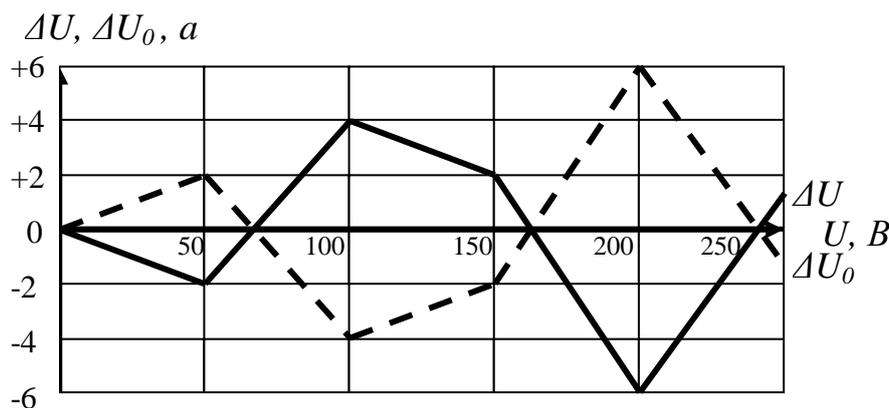


Рисунок 4 - Кривые абсолютных погрешностей ΔU вольтметра и поправок ΔU_0 к его показаниям

Наибольшая приведенная погрешность $\gamma_{прив}$ вольтметра выражается в процентах от верхнего предела U_H его показания с учетом поправки к нему, т.е.

$$\gamma_{прив} = \frac{(\Delta U)_{\max}}{U_H} \cdot 100 \% . \quad (9)$$

Величина $\gamma_{прив}$, подсчитанная по формуле (9) для вольтметров, пригодных к эксплуатации, не должна превышать значений, установленных для данного класса поверяемого прибора. Если это не соблюдается, то прибор должен быть отремонтирован и вновь поверен, а в случае необходимости переградуирован и даже переведен в более низкий класс.

Техника поверки вольтметров по образцовым стрелочным приборам заключается в непосредственном сравнении показаний поверяемых приборов с отсчетами по аналогичным приборам более высокого класса, принимаемым в качестве образцовых. При поверке вольтметров классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 класс образцовых приборов должен быть соответственно не ниже 0,2; 0,5; 1,0; 1,5, причем верхний предел их измерения может отличаться от верхнего предела измерения поверяемого прибора не более чем на 25%.

Как правило, вольтметры методом сличения поверяются на переменном токе, за исключением приборов постоянного тока и приборов постоянного и переменного тока при отсутствии образцовых приборов переменного тока.

При поверке на постоянном токе в качестве образцовых приборов используют приборы магнитоэлектрической, а в цепях переменного тока – электродинамической системы.

При поверке вольтметров необходимо ток плавно увеличивать так, чтобы стрелка поверяемого прибора в момент отсчетов поочередно находилась на всех оцифрованных делениях шкалы до деления, отвечающего номинальному току прибора, а затем уменьшать ток до нуля и устанавливать стрелку на те же деления шкалы.

Действительное значение напряжения, отвечающее различным положениям стрелки поверяемого вольтметра, определяются по показаниям образцового прибора как

$$U_0 = C_{\sigma} (\alpha + \sigma_{\sigma}), \quad (10)$$

где C_{σ} - цена деления шкалы образцового вольтметра, В/дел.;

α - показания вольтметра, дел.;

σ_{σ} - поправка для данной отметки шкалы согласно свидетельству на образцовый вольтметр, выраженная в делениях шкалы (в тех случаях, когда шкалы не совпадают с числовыми отметками, поправка находится путем интерполяции).

Вольтметры классов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 перед поверкой прогреваются номинальным током, после чего ток выключается, а стрелки вольтметров устанавливаются регулировочными винтами на нулевое деление шкалы.

Сопротивление обмотки поверяемого вольтметра и мощность, потребляемая прибором при полном отклонении стрелки, находятся из соотношений:

$$r_{\text{в}} = \frac{U_{\text{в}}}{I_{\text{в}}} \quad (11)$$

и

$$P_{\text{в}} = U_{\text{в}} I_{\text{в}}, \quad (12)$$

где $r_{\text{в}}$ - сопротивление обмотки вольтметра, Ом;

$U_{\text{в}}$ - наибольшее напряжение, измеренное поверяемым вольтметром, с

учетом поправки к его показанию при полном отклонении стрелки, В;

$I_{\text{в}}$ - ток, потребляемый обмоткой вольтметра при полном отклонении стрелки, А;

$P_{\text{в}}$ - мощность, потребляемая обмоткой вольтметра при полном отклонении его стрелки, Вт.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1 Ознакомиться с приборами и прочим оборудованием экспериментальной установки и записать в протокол испытания их технические характеристики.

2 Собрать схему поверки градуировки вольтметра (рис. 5). Поставить ползунок делителя напряжения D в положение, отвечающее наименьшему значению напряжения U , подводимого к вольтметрам, и после проверки схемы руководителем включить двухполюсный рубильник P .

3 Медленно передвигая ползунок делителя напряжения D , добиться полного отклонения стрелки поверяемого вольтметра V , а затем в течение 3 мин. при этом режиме прогревать приборы током.

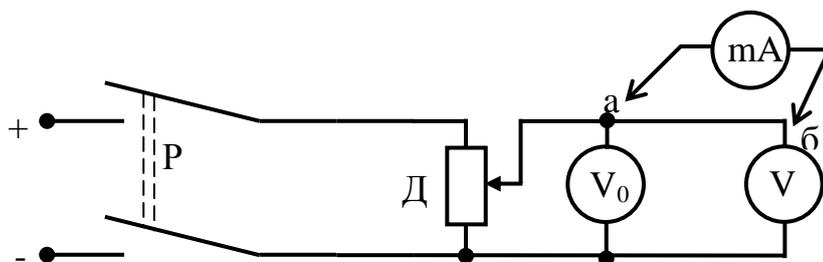


Рисунок 5 – Схема поверки градуировки вольтметра

4 После прогрева выключить установку, регулировочными винтами установить обе стрелки приборов на нулевые деления шкал и приступить к проверке вольтметра.

5 При проверке постепенно повышать напряжение от нуля до значения, соответствующего полному отклонению стрелки поверяемого прибора, а затем понижать его до нуля.

6 Рассчитать для всех произведенных опытов абсолютные погрешности ΔU и поправки ΔU_0 к показаниям технического амперметра и результаты расчетов объединить с данными наблюдениями в таблицу 5.

7 Определить наибольшую приведенную погрешность $\gamma_{прив}$ прибора, вычисления занести в таблицу 5 и дать заключение о возможности его дальнейшей эксплуатации.

8 Построить в одной координатной системе зависимости $U_0 = f(U)$ и $\Delta U_0 = f(U)$, найти по ним истинное значение номинального тока поверяемого технического амперметра при полном отклонении его стрелки.

9 Подсоединить миллиамперметр к зажимам a и b , установить ползунком делителя D такое напряжение, при котором стрелка поверяемого вольтметра V устанавливается на конечном делении шкалы, записать показания приборов в таблицу 6.

Таблица 5

№ опыта	Данные наблюдений		Результаты вычислений		
	Показания амперметров		ΔU , В	ΔU_0 , В	$\gamma_{прив}$ %
	технического U , В	образцового U_0 , В			
1	0	0			
2					
:					
11					
:					
21					

10 Вычислить величину сопротивления $r_в$ обмотки поверяемого вольтметра, а также собственное потребление им мощности $P_в$ при полном отклонении стрелки. Результаты записать в таблицу 6.

Таблица 6

$U,$ В	$mA,$ мА	$r_B,$ Ом	$P_B,$ Вт

Контрольные вопросы

- 1 Классификация классов точности.
- 2 Обработка и представление результатов прямых и косвенных измерений.
- 3 Обработка и представление результатов многократных измерений.
- 4 Определение зависимости между величинами.
- 5 Основы теории электромеханических измерительных приборов (назначение, схема, принцип действия, математическая модель).
- 6 Магнитоэлектрические измерительные приборы (назначение, схема, принцип действия, математическая модель, особенности).
- 7 Электромагнитные измерительные приборы (назначение, схема, принцип действия, математическая модель, особенности).
- 8 Электродинамические измерительные приборы (назначение, схема, принцип действия, математическая модель, особенности).
- 9 Индукционные измерительные приборы (назначение, схема, принцип действия, математическая модель, особенности).
- 10 Электростатические измерительные приборы (назначение, схема, принцип действия, математическая модель, особенности).

Лабораторная работа №3

Измерение сопротивлений по методу одинарного моста и определение его чувствительности

Цель работы:

- 1) Изучить метод измерения сопротивлений мостовой схемой.
- 2) Ознакомиться с основными характеристиками моста постоянного тока прибора.
- 3) Измерить сопротивление обмоток вольтметров различных систем одинарным мостом.
- 4) Исследовать симметричную схему неуравновешенного моста.

Основные теоретические положения

Для измерения сопротивлений от 1 до 1000000 Ом, находящихся вне рабочих цепей, может быть применена одинарная мостовая схема (рис. 6), которая для сопротивлений средней величины дает достаточно малую погрешность измерения порядка 0,05-0,1% их истинного значения.

В состав схемы входят три известных сопротивления: R_2, R_3, R_4 и одно неизвестное - $R_X = R_1$, измеряемое сопротивление, которое называется плечами моста.

На зажимы одной из диагоналей, например AB , подается напряжение U от аккумуляторной батареи A_k (приложение Е), а в другую измерительную диагональ CD включается гальванометр G с нулем посередине шкалы.

Если ток через гальванометр

$$I_G = U \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_G (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_4 + R_3) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)}, \quad (13)$$

отличен от нуля, то при заданных значениях U, R_1, R_2, R_3, R_4 величина его является функцией измеряемого сопротивления $R_X = R_1$, т.е. $I_G = f(R_X)$.

Мосты, в которых о значении измеряемого сопротивления R_X судят по показанию стрелки гальванометра, включенного в диагональ CD , называются уравновешенными.

Если в мостовой схеме одно из плеч, например R_2 , сделать регулируемым, то можно добиться того, что

$$R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0, \quad (14)$$

а следовательно, и ток I_G в диагональной ветви с гальванометром также был бы равен нулю.

Такое состояние моста называется равновесным, а сам мост – уравновешенным.

Из соотношения (14) можно найти величину сопротивления:

$$R_X = R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4}. \quad (15)$$

Сопротивление R_2 называется плечом сравнения, а сопротивления R_4 и R_3 – плечами отношения.

В частном случае, если плечи отношения $R_4 = R_3$, то неизвестное сопротивление $R_X = R_1$ равно плечу сравнения R_2 , т.е. $R_X = R_2$.

Мостовая схема считается симметричной, если $R_1=R_2$ и $R_3=R_4$ либо при $R_1=R_3$ и $R_2=R_4$.

Процесс уравнивания моста при измерении сопротивления достигается не только изменением величины R_2 , но также и изменением отношения R_3/R_4 , что может быть выполнено не только ручным способом, но и при помощи специальных уравнивающих механизмов, действующих автоматически.

Одной из важных характеристик мостовой схемы является ее чувствительность S_{MI} к току I_G , которая характеризует изменение угла отклонения стрелки гальванометра, пропорционального току I_G , например при изменении одного из сопротивлений плеч моста (рис.7).

Чувствительность уравновешенного моста к току измерительной диагонали в нулевой точке шкалы гальванометра находится:

$$S_{MI} = \left(\frac{\partial I_G}{\partial R_1} \right)_{\partial R_1=0} = \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{MN}{ON}, \quad (16)$$

где α_0 -угол, образованный касательной, проведенной к кривой $I_G=f(\Delta R_1)$ через начало координат 0 (рис. 7).

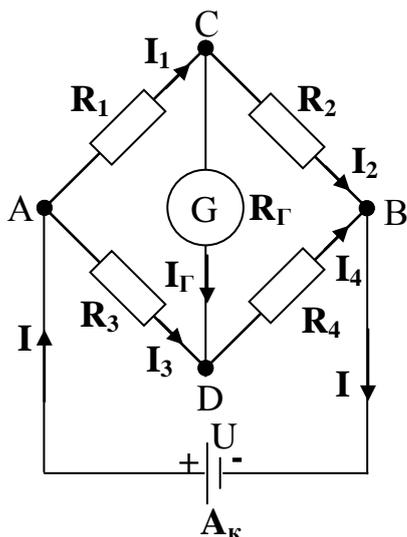


Рисунок 6 – Измерительная одинарная мостовая схема

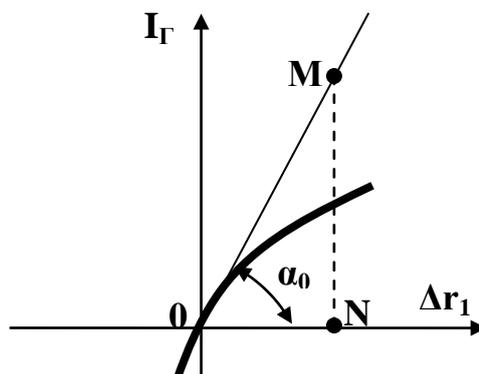


Рисунок 7 – Зависимость тока в измерительной диагонали при разбалансировке моста

Наибольшая чувствительность моста при изменении сопротивления одного из его плеч характеризуется наибольшим отклонением стрелки гальванометра и зависит не только от величины сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 , но и от чув-

ствительности самого гальванометра, и от величины напряжения источника электрической энергии.

Чувствительность гальванометра должна быть согласована с чувствительностью мостовой схемы, ибо при недостаточной чувствительности измерительного прибора не может быть использована полностью чувствительность схемы, а слишком большая чувствительность гальванометра затрудняет установление процесса по уравниванию моста.

Для уменьшения влияния сопротивления контактов и соединительных проводов используют схему одинарного моста с четырьмя зажимами подключения исследуемого объекта (рис 8). В этом случае при измерении сопротивлений, больших 10 Ом, точку *A* резистора R_x соединяют с зажимом 2, а точку *B* - с зажимом 3; зажимы 1 и 2, а также зажимы 3 и 4 соединяют между собой перемычками, т.е. в этом случае осуществляется обычное двухзажимное включение объекта R_x . При измерении сопротивлений, меньших 10 Ом, осуществляют четырехзажимное включение. Для этого перемычки между зажимами 1 и 2, а также между 3 и 4 снимают, а точку *A* резистора R_x соединяют с зажимами 1 и 2, точку *B* – с зажимами 3 и 4.

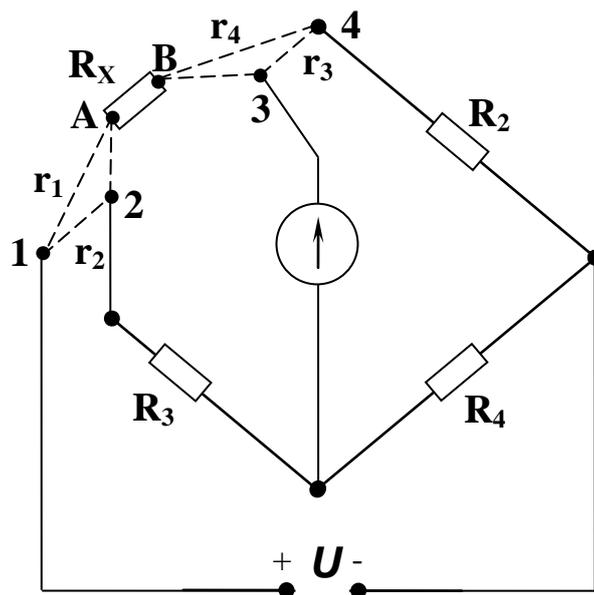


Рисунок 8 – Схема одинарного моста для двух- и четырехзажимного подключения объекта

В этом случае влияние сопротивлений проводов и контактов (r_1-r_4) практически исключается, если $R_2 > r_4$, $R_3 > r_2$.

Действительно, провода и контакты, имеющие сопротивления r_1 и r_3 , включены в диагонали моста и поэтому не влияют на условие его равновесия. Влияние r_2 и r_4 исключается по условию.

При измерении весьма малых сопротивлений одинарным мостом могут возникать значительные погрешности из-за низкой чувствительности моста и невозможности ее увеличения в результате ограничений, накладываемых допустимой мощностью рассеивания в плечах моста. Этому недостатка лишены двойные мосты.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1 Измерение сопротивлений одинарным мостом

1. Собрать схему одинарного моста (см. рис. 6) для измерения сопротивления данного резистора.
2. Уравновесить мост, регулируя сопротивления R_3 и R_4 .
3. Измерить неизвестное сопротивление и данные измерений занести в таблицу 7.
4. Изменяя сопротивление R_2 , повторить пункты 2 и 3.
5. Результаты измерений, полученные при равновесии моста, занести в таблицу 7.

Таблица 7

№ опыта	Измерено			Вычислено		
	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_x , Ом	R_{xcp} , Ом	γ , %
1						
2						
3						
4						
5						

2 Исследование симметричной схемы неуравновешенного моста

1. Собрать схему одинарного моста (рис. 6).
2. Уравновесить мост.
3. Изменять величину сопротивления R_x степенями по $\Delta R_x = R_x \pm i$, где $i=2, 4, 6, 8, 10$ Ом, записывать отсчеты по гальванометру до достижения наибольшего отклонения его стрелки в обе стороны.
4. Результаты наблюдений записать в таблицу 8.

5. Построить в одной координатной системе для неуравновешенного моста семейство кривых $I_{\Gamma} = f(\Delta R_X)$.

6. Определить чувствительность S_{MI} мостовой схемы к току I_{Γ} измерительной диагонали при $\Delta R_X = 0$ для всех проведенных испытаний.

7. Для определения влияния величины напряжения на чувствительность мостовой схемы изменить напряжение источника питания и повторить опыты пунктов 3-6, сведя результаты наблюдений в аналогичную таблицу.

8. Для исследования влияния параметров гальванометра на чувствительность мостовой схемы включить в измерительную диагональ другой гальванометр, имеющий большее внутреннее сопротивление, и, не изменяя сопротивление плеч моста, повторить опыты пункта 3-6, записав результаты наблюдений в аналогичную таблицу.

Таблица 8

№ опыта	Величина изменения сопротивления ΔR_X , Ом	Ток в измерительной диагонали моста I_{Γ} , мкА	№ опыта	Величина изменения сопротивления ΔR_X , Ом	Ток в измерительной диагонали моста I_{Γ} , мкА
1			6		
2			7		
3			8		
4			9		
5			10		

Контрольные вопросы

- 1 Общие понятия и теория мостов постоянного тока.
- 2 Типы мостов постоянного тока. Двойные мосты.
- 3 Общая теория мостов переменного тока.
- 4 Мосты для измерения емкости и угла потерь.
- 5 Мосты для измерения индуктивности и добротности.
- 6 Мосты с автоматическим уравниванием.
- 7 Принцип действия и устройство компенсаторов постоянного тока.
- 8 Компенсаторы с автоматическим уравниванием.
- 9 Устройство и принцип действия компенсаторов переменного тока.
- 10 Аппараты для поверки трансформаторов тока.

Лабораторная работа №4

Измерение сопротивлений методом вольтметра и амперметра

Цель работы:

- 1) Изучить схемы для измерения «больших» и «малых» сопротивлений методом вольтметра и амперметра.
- 2) Измерить сопротивление с погрешностью вследствие влияния проводимости вольтметра.
- 3) Измерить сопротивление с погрешностью вследствие влияния сопротивления амперметра.
- 4) Установить величину относительной погрешности измерения сопротивления при пользовании приближенной формулой.

Основные теоретические положения

В электрометрии под измерением сопротивления понимают опытное нахождение омического сопротивления r_X при измерении на постоянном токе.

Среди существующих способов измерения величины сопротивлений метод вольтметра и амперметра наиболее прост по применяемой аппаратуре и позволяет в отличие от других методов ставить измеряемое сопротивление в процессе измерения в *нормальные рабочие условия*.

Этот метод основан на использовании закона Ома для участка цепи, являющегося измеряемым сопротивлением r_X .

Величина r_X определяется по известному падению напряжения на нем U_X и протекающему току I_X :

$$r_X = \frac{U_X}{I_X}. \quad (18)$$

На рис. 9, 10 представлены возможные способы измерения величины падения напряжения U_X на измеряемом сопротивлении r_X и протекающего по нему тока I_X .

В схемах на рис.9, 10 регулирование величины напряжения, подводимого к измеряемому сопротивлению r_X , производится при помощи последовательно включенного с источником электрической энергии реостата r_p .

Регулирование величины подводимого напряжения необходимо для возможности постановки измеряемого сопротивления в условия, близкие к нормальным эксплуатационным.

Сравнивая измерительные части приведенных схем, видим, что обе они полностью не могут обеспечить *одновременно* точное измерение необходимых величин U_X и I_X .

Действительно, в схеме, представленной на рис.9 получается точное измерение величины падения напряжения на измеряемом сопротивлении и преувеличенное значение тока, так как через амперметр кроме тока I_X протекает еще ток I_B , потребляемый обмоткой вольтметра.

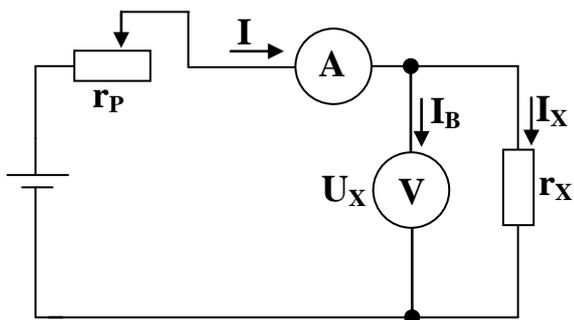


Рисунок 9 – Схема измерения сопротивления с погрешностью вследствие влияния проводимости вольтметра

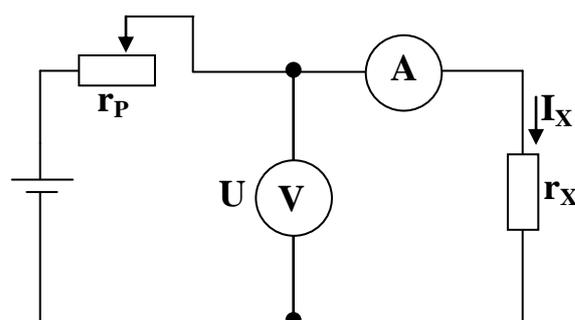


Рисунок 10 – Схема измерения сопротивления с погрешностью вследствие влияния сопротивления амперметра

Величина измеряемого сопротивления в этом случае равна:

$$r_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_X}{I - I_B} = \frac{U_X}{I - \frac{U_X}{r_B}}, \quad (19)$$

где r_B - сопротивление обмотки вольтметра.

В схеме, представленной на рис.10, амперметр учитывает ток I_X , протекающий по измеряемому сопротивлению r_X , а вольтметр показывает сумму падений напряжений на измеряемом сопротивлении U_X и амперметре U_A .

Следовательно, величина измеряемого сопротивления в этом случае будет:

$$r_X = \frac{U_X}{I_X} = \frac{U - U_A}{I_X} = \frac{U}{I_X} - \frac{U_A}{I_X} = \frac{U}{I_X} - r_A, \quad (20)$$

где r_A - сопротивление обмотки амперметра.

Таким образом, если при расчете величины неизвестного сопротивления r_X учитывать сопротивление электроизмерительных приборов: вольтметра r_B и амперметра r_A , то могут применяться обе схемы.

Если измеряемое сопротивление настолько мало по сравнению с сопротивлением обмотки вольтметра r_B , которое бывает обычно порядка тысяч или десятков тысяч Ом, что в формуле (19) можно пренебречь током, ответвляющимся в вольтметр I_B , то его величину r'_X находят:

$$r'_X = \frac{U_X}{I}, \quad (21)$$

допуская относительную погрешность измерения:

$$\gamma' = \frac{r'_X - r_X}{r_X} = -\frac{r'_X}{r_B} = -\frac{r_X}{r_X + r_B} \cdot 100\%. \quad (22)$$

В тех случаях, когда измеряемое сопротивление по своей величине сравнимо с сопротивлением обмотки вольтметра r_B и пренебречь током I_B нельзя, следует пользоваться схемой, приведенной на рис.10, и при расчете не учитывать малого падения напряжения на амперметре U_A .

Величина измеряемого сопротивления

$$r''_X = \frac{U}{I_X}, \quad (23)$$

при относительной погрешности измерения

$$\gamma'' = \frac{r''_X - r_X}{r_X} = -\frac{r_A}{r''_X - r_A} = -\frac{r_A}{r_X} \cdot 100\%. \quad (24)$$

Таким образом, обе приближенные формулы (21) и (23) дают определенную погрешность, величина которой зависит от соотношения между сопротивлениями r_X , r_B , r_A .

При определенном соотношении между этими величинами обе схемы дают одинаковую погрешность, т.е

$$\gamma' = \gamma'' \quad (25)$$

или, подставляя их абсолютные величины, имеем

$$\frac{r_X}{r_X + r_B} = \frac{r_A}{r_X}, \quad (26)$$

что приводит к квадратному уравнению

$$r_X^2 - r_A r_X - r_B r_A = 0, \quad (27)$$

приближенным значением которого будет:

$$r \cong \sqrt{r_B r_A}. \quad (28)$$

Очевидно, что для сопротивления r_X , величина которого связана с сопротивлениями вольтметра r_B и амперметра r_A соотношением (28), выбор схемы включения электроизмерительных приборов безразличен и произволен.

Для сопротивлений, величина которых

$$r < \sqrt{r_B r_A}, \quad (29)$$

следует предпочесть схему изображенную на рис.9, ибо она даст наименьшую погрешность измерения, а когда измеряемое сопротивление

$$r > \sqrt{r_B r_A}, \quad (30)$$

то меньшая погрешность измерения обеспечивается схемой, представленной на рис.10.

Поэтому в практике первая схема называется схемой для измерения «малых» сопротивлений, а остальные – схемами для измерения «больших» сопротивлений.

Применив соответствующую схему и выбрав надлежащую аппаратуру магнитоэлектрической системы, характерную малым собственным потреблением энергии, получают результаты измерений, подсчитанные по формулам (21) и (23) с достаточной технической точностью.

Следует иметь в виду, что при измерении сопротивлений методом вольтметра и амперметра электроизмерительные приборы следует выбирать с такими пределами измерений, чтобы показания их были близкими к номинальным значениям, так как при этом относительные погрешности отсчетов показаний будут наименьшими.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1 Измерение сопротивлений с погрешностью вследствие влияния проводимости вольтметра

1 Собрать схему для измерения сопротивления данного резистора (см.рис.9).

2 Поставить ползунок реостата r_p в положение, отвечающее наибольшему сопротивлению.

3 Изменяя величину сопротивления реостата, устанавливать токи, при которых стрелка вольтметра показывала бы на оцифрованные деления шкалы, и записывать показания приборов в таблицу 9.

4 По формулам (2) и (4) вычислить значение сопротивления r_{X1} .

5 Результаты вычислений, полученные при расчетах, занести в таблицу 9.

Таблица 9

№ опыта	Измерено		Вычислено		
	$U_x, В$	$I, А$	$r_{X1}, Ом$	$r'_{X1}, Ом$	γ'
1					
2					
3					
4					
5					

2 Измерение сопротивления с погрешностью вследствие влияния сопротивления амперметра.

1 Собрать схему для измерения сопротивления данного резистора (см.рис.10).

2 Поставить ползунок реостата r_p в положение, отвечающее наименьшему сопротивлению.

3 Изменяя величину сопротивления реостата, устанавливать токи, при которых стрелка вольтметра показывала бы на оцифрованные деления шкалы, и записывать показания приборов в таблицу 10.

4 По формулам (3) и (6) вычислить значение сопротивления r_{X2} .

5 Результаты вычислений, полученные при расчетах, занести в таблицу 10.

Таблица 10

№ опыта	Измерено		Вычислено		
	$U, В$	$I_x, А$	$r_{X2}, Ом$	$r'_{X2}, Ом$	γ''
1					
2					
3					
4					
5					

Построить в одной координатной системе семейство кривых $\gamma' = f(r_{X1})$ и $\gamma'' = f(r_{X2})$.

Контрольные вопросы

- 1 Какие сопротивления считаются «большими», какие «средними» и какие «малыми»?
- 2 Что вынуждает применять различные схемы включения электроизмерительных приборов при измерении сопротивления методом вольтметра и амперметра?
- 3 Особенности измерения малых и больших сопротивлений.
- 4 Чем пренебрегают, применяя приближенную формулу подсчета величины измеряемого сопротивления, когда оно «большое» и когда «малое»?
- 5 Классификация омметров. Измерение сопротивлений омметрами.
- 6 Измерение «средних» сопротивлений методом вольтметра и амперметра.
- 7 Измерение «средних» и «больших» сопротивлений методом вольтметра.
- 8 Измерение «малых» и «средних» сопротивлений методом сравнения с образцовым сопротивлением.
- 9 Измерение «средних» и «больших» сопротивлений методом замещения.
- 10 Особенности измерений весьма «больших» сопротивлений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Измерение реактивной мощности в цепи трехфазного тока при симметричной нагрузке

Цель работы:

- 1) Освоить методы измерения активной мощности в цепях трехфазного тока.
- 2) Изучить способы измерения реактивной мощности в цепях трехфазного тока.
- 3) Измерить активную и реактивную мощности в цепи трехфазного тока.
- 4) Найти коэффициент мощности нагрузки в цепи трехфазного тока.

Основные теоретические положения

Среднее значение активной мощности трехфазной цепи определяется выражением

$$P = U_{1\Phi} I_{1\Phi} \cos \varphi_1 + U_{2\Phi} I_{2\Phi} \cos \varphi_2 + U_{3\Phi} I_{3\Phi} \cos \varphi_3. \quad (31)$$

При полной симметрии системы, т.е. при $U_{1\Phi} = U_{2\Phi} = U_{3\Phi} = U_{\Phi}$; $I_{1\Phi} = I_{2\Phi} = I_{3\Phi} = I_{\Phi}$ и $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$, уравнение для P примет вид

$$P = 3P_{\Phi} = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi. \quad (32)$$

Если учесть, что между фазными и линейными напряжениями и токами при соединении звездой существуют зависимости:

$$I_{\Phi} = I_{Л} \quad \text{и} \quad U_{\Phi} = \frac{U_{Л}}{\sqrt{3}}, \quad (33)$$

а при соединении треугольником -

$$U_{\Phi} = U_{Л} \quad \text{и} \quad I_{\Phi} = \frac{I_{Л}}{\sqrt{3}}, \quad (34)$$

значение мощности может быть выражено так:

$$P = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} \cos \varphi. \quad (35)$$

Среднее значение реактивной мощности трехфазной цепи определяется выражением

$$Q = U_{1\Phi} I_{1\Phi} \sin \varphi_1 + U_{2\Phi} I_{2\Phi} \sin \varphi_2 + U_{3\Phi} I_{3\Phi} \sin \varphi_3. \quad (36)$$

$$\text{При полной симметрии системы} \quad Q = 3Q_{\Phi} = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \sin \varphi, \quad (37)$$

или

$$Q = \sqrt{3} U_{Л} I_{Л} \sin \varphi. \quad (38)$$

1 Измерение активной и реактивной мощности методом одного прибора в симметричных трехфазных цепях.

Метод одного прибора применяется в симметричной трехфазной системе, т.е. в трехфазной системе с равномерной нагрузкой фаз, одинаковыми углами сдвига по фазе между векторами токов и напряжений и полной симметрией напряжений.

Если приемники соединены звездой и нулевая точка доступна, то можно включить однофазный ваттметр по схеме рис.11 и измерить мощность P_{Φ} одной фазы. Для получения мощности всей системы показания ваттметра нужно утроить, т.е. $P = 3U_{\Phi} I_{\Phi} \cos \varphi$.

Можно также измерить мощность и при соединении приемников треугольником, но при условии, если возможно включить последовательную обмотку ваттметра в одну из его фаз (рис.12).

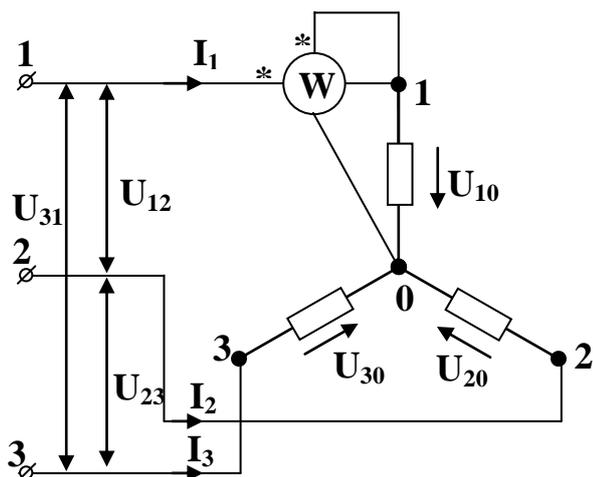


Рисунок 11 – Измерение активной мощности одним ваттметром при соединении приемников звездой

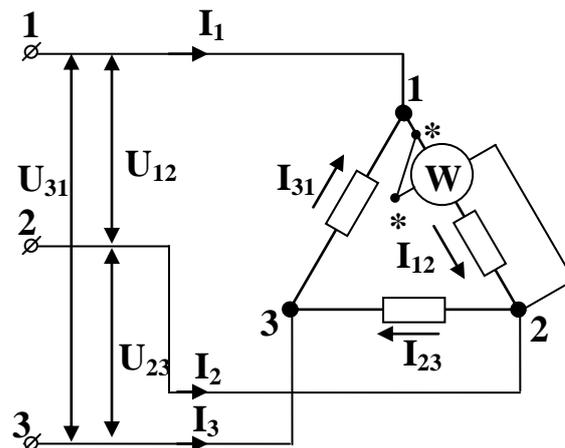


Рисунок 12 – Измерение активной мощности одним ваттметром при соединении приемников треугольником

Для измерения реактивной мощности можно пользоваться теми же схемами, что и для соответствующих активных величин, при условии замены приборов специальными реактивными ваттметрами.

Однако можно измерять реактивные величины и обычными ваттметрами, включенными по особым схемам.

Действительно, ваттметр однофазного тока, включенный по схеме рис.13 (включение на "чужое напряжение"), покажет:

$$Q_1 = U_{23} I_1 \sin \varphi. \quad (39)$$

Если измеренную величину Q_1 умножить на $\sqrt{3}$, то получим реактивную мощность симметричной трехфазной системы напряжений при равномерной нагрузке фаз:

$$Q = \sqrt{3} Q_1 = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \sin \varphi. \quad (40)$$

2 Измерение активной и реактивной мощности методом двух приборов в симметричных трехфазных цепях.

Этот метод применяется в асимметричных трехпроводных цепях трехфазного тока.

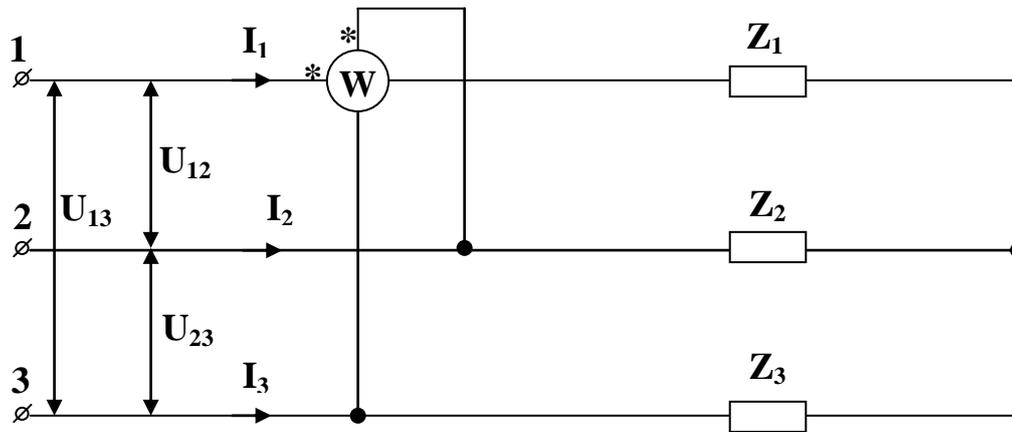


Рисунок 13 – Измерение реактивной мощности одним ваттметром активной мощности однофазного тока при соединении приемников звездой

Асимметричной считается та система, в которой величина токов и напряжений отдельных фаз не одинаковы, а также не одинаковы углы сдвига по фазе между векторами токов и напряжений.

Ваттметр можно включить по схеме на рис.14 (при соединении приемников треугольником) и по схеме рис.15 (при соединении приемников звездой).

Например, на рис. 14 последовательные цепи ваттметров введены в линейные провода 1 и 2 (эти символы стоят у индексов токов), а параллельные цепи генераторными зажимами подключены также к проводам 1 и 2 (эти цифры стоят первыми в индексах у символов напряжений).

Ваттметр W_1 покажет мощность: $P_1 = U_{13} I_1 \cos \beta_1$, а ваттметр W_2 - $P_2 = U_{23} I_2 \cos \beta_2$, где β_1 - угол между вектором тока I_1 и вектором напряжения U_{13} , приложенного к параллельной цепи первого ваттметра W_1 , β_2 - угол между вектором тока I_2 и вектором напряжения U_{23} , приложенного к параллельной цепи второго ваттметра W_2 .

Для получения мощности трехфазной системы P показания ваттметров необходимо сложить, т.е.

$$P = P_1 + P_2 = U_{13} I_1 \cos \beta_1 + U_{23} I_2 \cos \beta_2. \quad (41)$$

На рис. 15 последовательные обмотки ваттметров введены в линейные провода 1 и 3.

При этих условиях ваттметры учтут мощность:

$$P = P_1 + P_2 = U_{12} I_1 \cos \beta_3 + U_{32} I_3 \cos \beta_4 \quad (42)$$

При полной симметрии системы, т.е. при $I_1 = I_2 = I_3 = I_\Phi = I_L$,
 $U_{12} = U_{23} = U_{31} = U_L$ и $\beta_3 = 30^\circ + \varphi$, $\beta_4 = 30^\circ - \varphi$.

Тогда мощность трехфазной цепи по показаниям двух ваттметров может быть выражена следующим образом:

$$P = P_1 + P_2 = U_L I_L \cos(30^\circ + \varphi) + U_L I_L \cos(30^\circ - \varphi), \quad (43)$$

или

$$P = U_L I_L \left[\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi) \right] = \\ = U_L I_L 2 \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_L I_L \cos \varphi. \quad (44)$$

В случае соединения приемников треугольником и полной симметрии придем к тому же выводу, только углы в 30° будут между фазными и линейными токами.

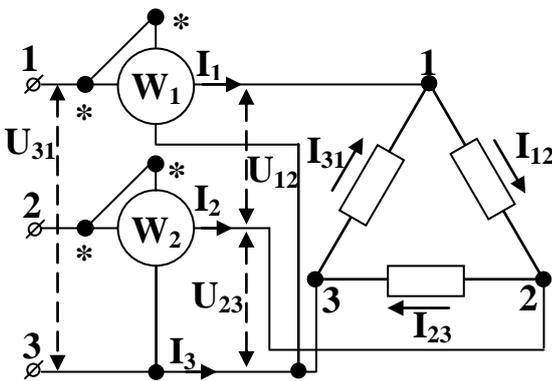


Рисунок 14 – Измерение активной мощности двумя ваттметрами при соединении приемников треугольником

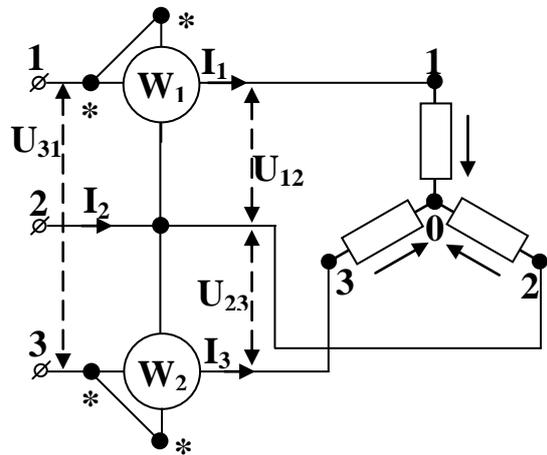


Рисунок 15 – Измерение активной мощности двумя ваттметрами при соединении приемников звездой

Из выражения (44) следует, что показания каждого ваттметра могут быть как положительными, так и отрицательными в зависимости от величины и знака угла φ , определяемого характером нагрузки. Только в одном случае при $\varphi = 0$ показания ваттметров будут равны, а именно когда к параллельным цепям приложены напряжения $U_{12} = U_{23} = U_L$, а по последовательным обмоткам протекают токи $I_1 = I_2 = I_L$. Тогда показания ваттметров -

$$P_1 = P_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_L I_L. \quad (45)$$

При применении двух ваттметров W_1 и W_2 для измерения реактивной мощности сумму их показаний в единицах мощности в соответствии с рис.16 можно записать так:

$$Q_1 + Q_2 = U_{23}I_1 \cos(90^\circ - \varphi) + U_{12}I_3 \cos(90^\circ - \varphi). \quad (46)$$

Так как система симметрична, то

$$Q_1 + Q_2 = 2U_{\text{Л}}I_{\text{Л}} \sin \varphi. \quad (47)$$

Для получения мощности трехфазной системы сумму показаний необходимо умножить на $\frac{\sqrt{3}}{2}$, т.е.

$$Q = \frac{\sqrt{3}}{2}(Q_1 + Q_2) = \sqrt{3}U_{\text{Л}}I_{\text{Л}} \sin \varphi. \quad (48)$$

Преимущество применения двух ваттметров по сравнению с одним состоит в том, что коэффициент $\frac{\sqrt{3}}{2}$, на который нужно умножить сумму показаний ваттметров, близок к единице. Это приводит к тому, что при необходимости можно использовать двухэлементный активный ваттметр и отрегулировать его так, чтобы не было необходимости умножать на коэффициент, т.е. чтобы он непосредственно показывал реактивную мощность. То же самое можно сделать и при применении одного ваттметра, но с большими трудностями, так как коэффициент $\sqrt{3}$ значительно отличается от единицы.

Приборы могут быть включены по схеме, приведенной на рис.16, и в случае соединения приемника треугольником.

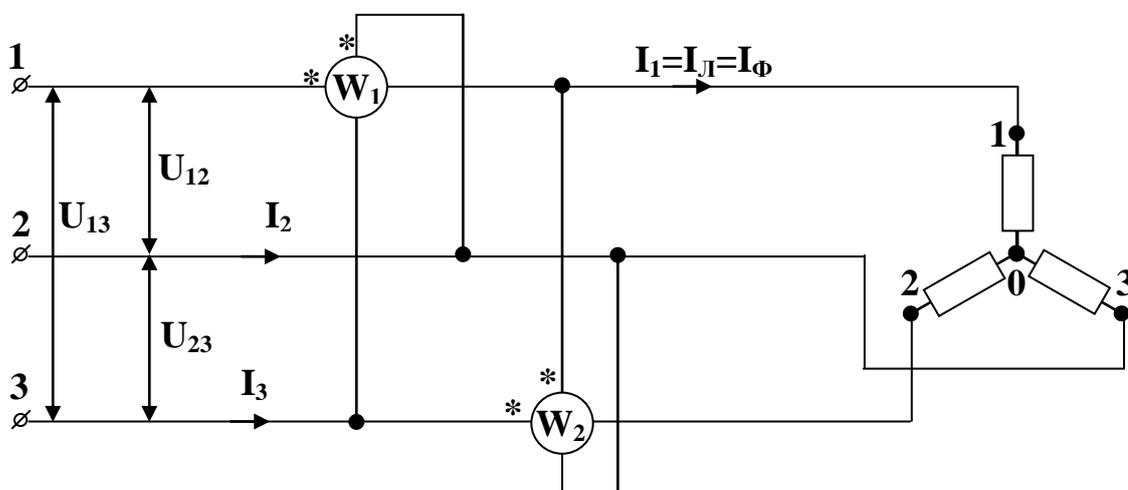


Рисунок 16 – Измерение реактивной мощности двумя ваттметрами активной мощности однофазного тока при соединении приемников звездой

Проведение эксперимента и обработка результатов

1 Измерение реактивной мощности одним ваттметром

- 1 Собрать схему для измерения реактивной мощности одним ваттметром (рис.17).
- 2 После проверки схемы руководителем включить питание.
- 3 Записать в таблицу 11 показания амперметра, вольтметра и ваттметра при холостом ходе электродвигателя.
- 4 Изменяя нагрузку на валу электродвигателя записывать показания амперметра, вольтметра и ваттметра в таблицу 11.
- 5 Вычислить значение реактивной мощности и $\sin\varphi$ для каждого опыта.

Таблица 11

№ опыта	Измерено				Вычислено	
	I_1	U_{23}	Q_1	M	Q	$\sin\varphi$
1						
2						
3						
4						
5						

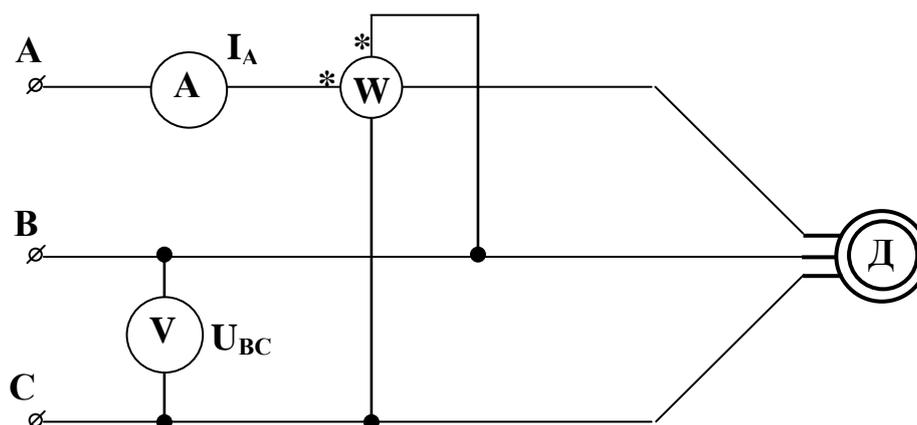


Рисунок 17 – Схема измерения реактивной мощности одним ваттметром активной мощности однофазного тока при соединении приемников звездой

2 Измерение реактивной мощности двумя ваттметрами

- 1 Собрать схему для измерения реактивной мощности одним ваттметром (рис.18).
- 2 После проверки схемы руководителем включить питание.

3 Записать показания амперметра, вольтметра и ваттметра при холостом ходе электродвигателя в таблицу 12.

4 Изменяя нагрузку на валу электродвигателя записывать показания амперметра, вольтметра и ваттметра в таблицу 12.

5 Вычислить значение реактивной мощности и $\sin\phi$ для каждого опыта.

Таблица 12

№ опыта	Измерено							Вычислено	
	I_1	I_3	U_{23}	U_{12}	Q_1	Q_2	M	Q	$\sin\phi$
1									
2									
3									
4									
5									

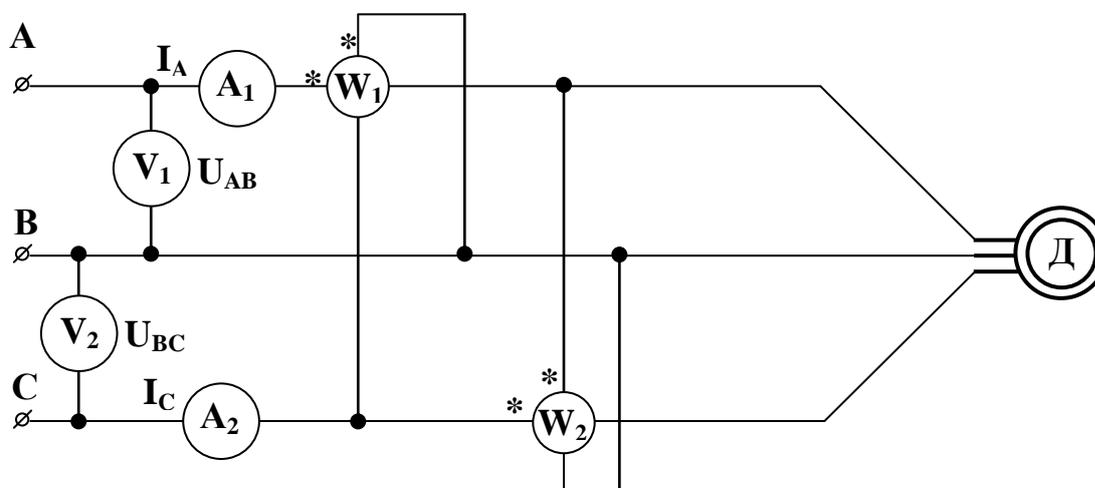


Рисунок 18 – Схема измерения реактивной мощности двумя ваттметрами активной мощности однофазного тока при соединении приемников звездой

Контрольные вопросы

- 1 Устройство электродинамического ваттметра.
- 2 Векторная диаграмма электродинамического ваттметра. Постоянная ваттметров.
- 3 Особенности измерения мощности ваттметром с трансформатором тока.

4 Особенности измерения мощности ваттметром с трансформатором тока и трансформатором напряжения.

5 Особенности измерения мощности в цепях трехфазного тока при симметричной нагрузке.

6 Особенности измерения мощности в трехфазной трехпроводной цепи при несимметричной нагрузке.

7 Особенности измерения активной мощности в трехфазной четырехпроводной цепи.

8 Особенности измерения реактивной мощности в трехфазной четырехпроводной цепи.

9 Метод двух ваттметров с искусственной нулевой точкой для измерения мощности при простой асимметрии.

10 Измерение $\cos\varphi$ в симметричной трехфазной трехпроводной цепи по показаниям двух ваттметров.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Поверка счетчика активной энергии однофазного тока

Цель работы:

- 1) Изучить схему поверки счетчика однофазного тока по методу отдельных цепей напряжения и тока.
- 2) Произвести поверку работы счетного механизма.
- 3) Найти действительную постоянную счетчика и его погрешности при различных нагрузках.
- 4) Определить чувствительность и отсутствие самохода у счетчика.

Основные теоретические положения

Для измерения активной электрической энергии, расходуемой в цепях однофазного тока, применяются электрические счетчики индукционной системы, предназначенные для частоты 50 Гц, отклонение которой в ту или иную сторону влечет за собой большие погрешности в учете израсходованной энергии.

В электрических счетчиках, являющихся интегрирующими устройствами, величина электроэнергии, израсходованной за определенное время, устанавливается по специальному счетному механизму барабанного типа, имеющему

обычно четыре или пять роликов, свободно сидящих на общей горизонтальной оси (рис.19).

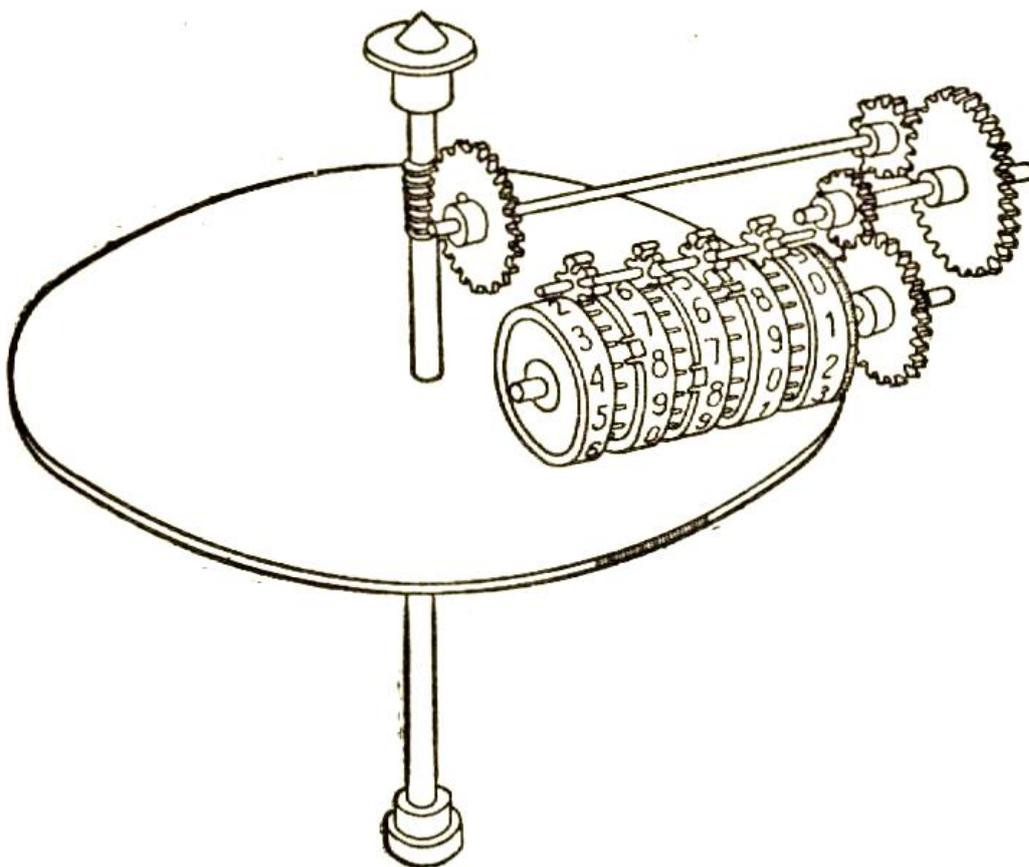


Рисунок 19 – Схема устройства роликового счетного механизма

Счетный механизм счетчика соединяется при помощи зубчатых колес и червячной передачи с вертикальной осью, на которой симметрично укреплен легкий, вращающийся при включенной нагрузке алюминиевый диск.

Вместе с диском непрерывно вращается первый ролик счетного механизма, полный оборот которого вызывает поворот второго ролика на одну десятую часть его полного оборота. Полный оборот второго ролика вызывает поворот третьего ролика на одну десятую его полного оборота и т.д.

На торцовых поверхностях роликов нанесены цифры от 0 до 9, сочетания которых видны через отверстия в специальной щитке в виде четырех- или пятизначного числа, например 0487,9 кВт·ч.

В счетчиках типа СО счетный механизм приводится в движение от оси через двойную червячную передачу и имеет четыре ролика с цифрами, а также специальное стрелочное устройство, смонтированное на щитке счетчика (рис.20) с приводом через обычную червячную передачу от той же оси, указывающее число оборотов диска.

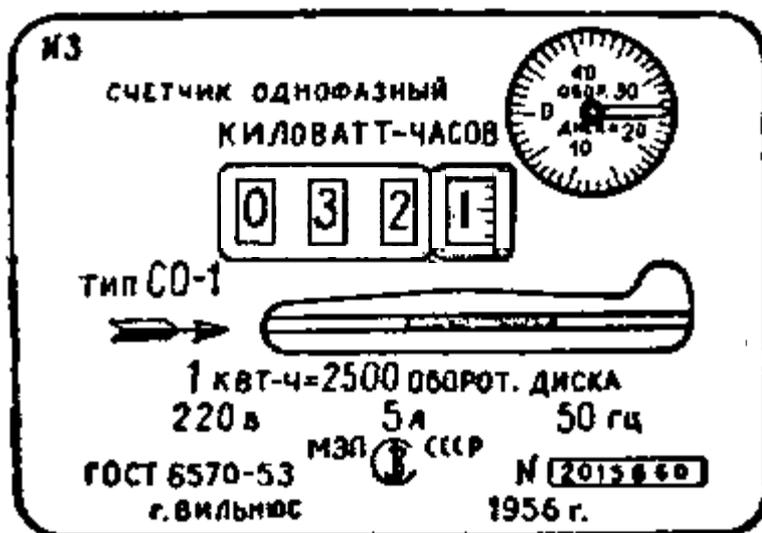


Рисунок 20 – Щиток счетчика типа СО

В зависимости от передаточного числа зубчатых колес и червячных передач, находящихся между счетным механизмом и осью диска счетчика, каждой единице зарегистрированной электрической энергии отвечает определенное приводимое на щитке счетчика число оборотов диска N' , которое называется передаточным числом счетного механизма, например, 1 кВт·ч – 5000 оборотов диска.

Величина C , обратная передаточному числу счетного механизма счетчика, представляющая собой энергию, зарегистрированную счетным механизмом за один оборот счетчика, называется номинальной постоянной счетчика, которая при его испытании обычно выражается в ватт-секунда на оборот.

Если 1 кВт·ч соответствует N' оборотам диска, то номинальная постоянная счетчика может быть определена:

$$C = \frac{3600 \cdot 1000}{N'} \quad (49)$$

Величина израсходованной за какое-то время электроэнергии определяется разностью отсчетов по счетному механизму, произведенных в конце и в начале рассматриваемого периода.

Диск D , являющийся подвижным элементом счетчика, находится в воздушном зазоре магнитной системы, состоящей из ферромагнитных сердечников, собранных из электротехнической стали толщиной 0,35 мм, и двух самостоятельных неподвижных обмоток I и II (рис.21).

Одна из обмоток I, выполненная тонкой изолированной проволокой и имеющая большое число витков (6000-10000), а следовательно, и значительную

индуктивность, подключается к напряжению U сети, а другая - II, с малым числом витков ($2 \cdot 15 - 2 \cdot 1$) толстой изолированной проволоки, включается последовательно с электроприемниками.

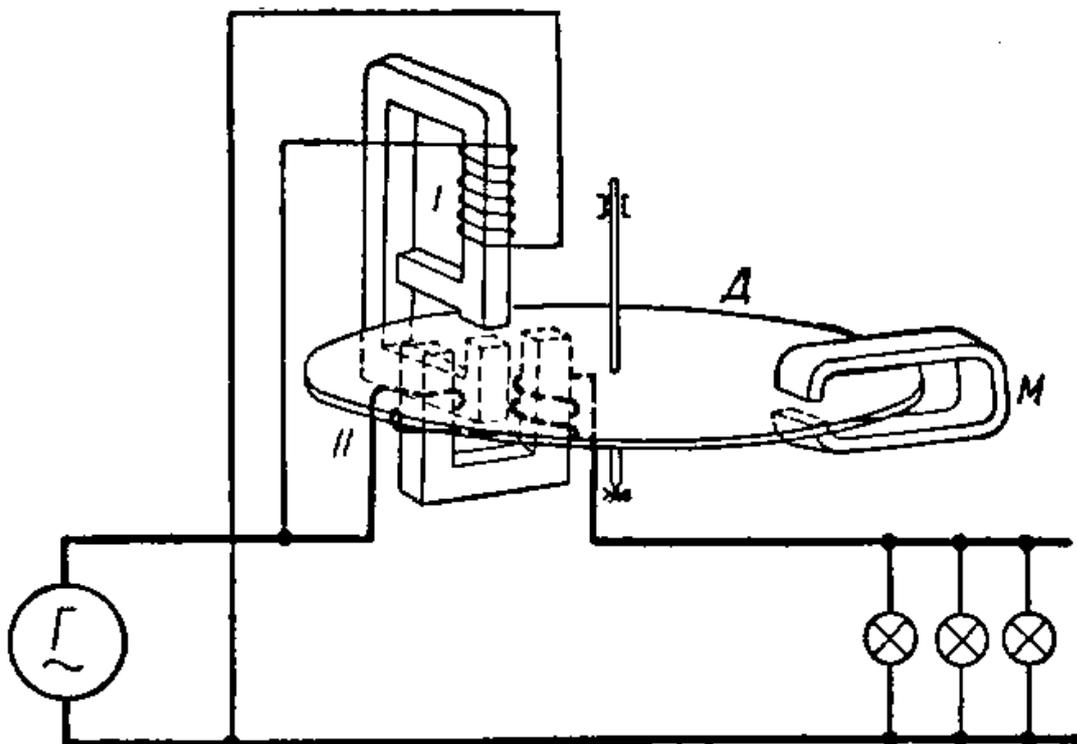


Рисунок 21 – Схема устройства счетчика однофазного тока индукционной системы

При протекании переменного тока по обмоткам возбуждаются магнитные потоки, из которых один пропорционален величине подведенного напряжения U , а второй – току нагрузки I . Эти потоки, сдвинутые между собой по фазе и не совпадающие пространственно, создают общее бегущее магнитное поле, возбуждающее в подвижном алюминиевом диске соответствующие ЭДС и вихревые токи.

Вихревые токи взаимодействуют с бегущим магнитным полем и вовлекают диск во вращение.

Среднее значение возникающего вращающего момента определяется соотношением

$$M_B = k_1 UI \cos \varphi, \quad (50)$$

где k_1 – коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей счетчика;

U – напряжение, подведенное к его параллельной обмотке;

I – ток, протекающей по последовательной обмотке счетчика;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электроприемников.

Взаимодействие магнитного поля специального постоянного подковообразного магнита M , между полюсами которого вращается диск, и индуцированных в нем вихревых токов создает тормозной момент M_T , пропорциональный скорости вращения диска, т.е.

$$M_T = k_2 n, \quad (51)$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности;

n – число оборотов диска счетчика за единицу времени.

При равномерном вращении диска и достаточно большой скорости вращения, когда трением можно пренебречь, имеет место соотношение

$$M_B = M_T. \quad (52)$$

Подставив значения моментов из формул (50) и (51), получим:

$$k_1 UI \cos \varphi = k_2 n, \quad (53)$$

откуда

$$UI \cos \varphi = C_0 n, \quad (54)$$

где C_0 – отношение постоянных коэффициентов k_1 и k_2 .

Из равенства (54) видно, что активная мощность

$$P = UI \cos \varphi \quad (55)$$

пропорциональна скорости вращения n диска счетчика, т.е.

$$P = C_0 n, \quad (56)$$

а расход электрической энергии W_0 за время t , учитываемый счетным механизмом счетчика, будет:

$$W_0 = \int_0^t P dt = C_0 \int_0^t n dt = C_0 N, \quad (57)$$

где N – число оборотов диска счетчика за время t .

Величина

$$C_0 = \frac{W_0}{N} \quad (58)$$

называется действительной постоянной счетчика электрической энергии и представляет собой количество энергии, потребляемое электроприемниками за время одного полного оборота диска.

Отклонение действительной постоянной C_0 счетчика от номинальной постоянной C характеризуется относительной погрешностью счетчика:

$$\gamma_{относ} = \frac{W - W_0}{W_0} \cdot 100\% , \quad (59)$$

где W_0 – действительное значение величины электрической энергии, израсходованное за некоторый промежуток времени t , определенное по показаниям образцовых приборов;

W – значение величины электрической энергии, определенное по показаниям поверяемого счетчика за тот же промежуток времени, подсчитанное по формуле

$$W = CN , \quad (60)$$

где N – целое число оборотов диска за то же время t .

Согласно ГОСТ для счетчиков однофазного тока класса 2,5 относительная погрешность определяется при нагрузках 10, 20, 50, 100, 150% номинальной, соответствующем значении коэффициента мощности $\cos\varphi$ (1 и 0,5) и не должна превышать нижеприведенных значений (табл.13), причем для счетчиков, находящихся в эксплуатации и выходящих из ремонта, поверка не производится при тех нагрузках, для которых допустимые значения погрешностей проставлены в квадратных скобках.

Таблица 13 - Допустимые относительные погрешности счетчиков однофазного тока

Нагрузка счетчика по отношению к номинальной, %	Допустимые значения относительной погрешности $\gamma_{относ.}$, % при коэффициенте мощности	
	$\cos\varphi=1$	$\cos\varphi=0,5$
10	$\pm 3,5$	-
20	-	$[\pm 4]$
50	$\pm 2,5$	± 4
100	$\pm 2,5$	$[\pm 4]$
150	$[\pm 2,5]$	-

На рис.22 приведены кривые относительной погрешности индукционного счетчика в зависимости от его нагрузки, выраженной в процентах от номинальной, причем изгиб кривых вначале объясняется заметным влиянием трения в механизме при малой нагрузке.

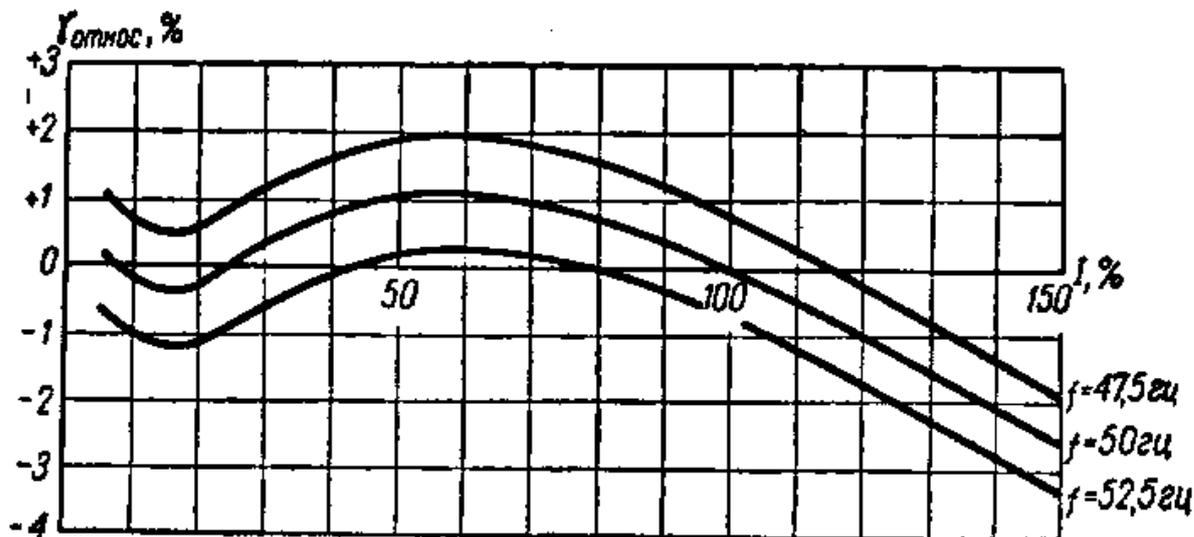


Рисунок 22 – Кривые относительной погрешности индукционного счетчика

Наименьшая мощность $P_{\text{мин}}$ или наименьший ток $I_{\text{мин}}$, выраженные в процентах соответствующих номинальных величин при номинальном напряжении и для счетчиков активной энергии при коэффициенте мощности $\cos\varphi=1$, при которых диск счетчика начинает безостановочно вращаться, называется чувствительностью S счетчика, т.е.

$$S = \frac{P_{\text{мин}}}{P_{\text{н}}} \cdot 100\% \quad (61)$$

или

$$S = \frac{I_{\text{мин}}}{I_{\text{н}}} \cdot 100\%, \quad (62)$$

где $I_{\text{н}}$ – номинальный ток счетчика, указанный в его паспорте.

Указанная величина для счетчика класса 2,5 должна быть не более 1,5% при номинальном значении напряжения, подведенного к параллельной обмотке.

В неправильно отрегулированных счетчиках при отсутствии нагрузки может наблюдаться вращение диска. Это явление называется самоходом счетчика.

В правильно отрегулированных счетчиках электрической энергии самоход не должен иметь места при напряжении от 80 до 110% номинального, при котором включение ненагруженного счетчика может вызвать только поворот его подвижной части до одного оборота, после чего она должна остановиться и все время оставаться неподвижной.

Так как на показания счетчика влияет температура, частота переменного тока и другие факторы, то поверка его должна производиться при определенных условиях.

Так, температура помещения, в котором производится поверка счетчика, должна быть не ниже 17 °С и не выше 23 °С, напряжение, подводимое к параллельной обмотке счетчика при определении его погрешности, не должно отличаться от номинального более чем на 3%, а частота – не более чем на 2%.

Кроме того, перед поверкой счетчик активной энергии, в целях прогрева его частей, должен проработать при номинальном режиме и коэффициенте мощности $\cos\varphi = 1$ не менее 15 мин, а затем не менее 10 мин при любой нагрузке, для которой определяется величина относительной погрешности счетчика.

Во время прогрева счетчика обычно записывают показания его счетного механизма W_1 до и W_2 после прогрева, используя эти данные для контроля работы счетного механизма, ибо в пределах допустимой погрешности должно выполняться равенство

$$W_2 - W_1 = Pt, \quad (63)$$

где P – мощность, потребляемая нагрузкой при прогреве счетчика, кВт;

t – время прогрева, ч.

Поверка правильности работы счетчика активной энергии однофазного тока может производиться путем контроля скорости вращения его диска по показаниям контрольных вольтметра и амперметра, образцового ваттметра и секундомера, причем для обеспечения необходимой точности результатов отсчетов по ним необходимо, чтобы показания электроизмерительных приборов всегда были бы не менее 35% от их верхнего предела измерения, за исключением испытания, проводимого для определения величины чувствительности счетчика.

При поверке счетчика класса 2,5 вольтметр и амперметр, служащие только для контроля значений напряжения и тока, могут быть класса 2,5, а ваттметр – класса 0,5 астатический или экранированный.

Секундомеры, периодически поверяемые, могут иметь поправку для интервала в 60 с не больше 0,1 с.

При поверке счетчиков при помощи показывающих образцовых приборов должно быть получено не менее двух отсчетов времени по секундомеру для каждой нагрузки, что достигается двукратным счетом числа оборотов диска с

измерением времени одним секундомером или однократным счетом числа оборотов диска с измерением времени одновременно двумя секундомерами. За действительное значение времени для данной нагрузки берется среднее арифметическое значение из всех отсчетов, полученных по секундомерам.

Необходимая точность поверки достигается еще тем, что во время счета числа оборотов диска величина нагрузки поддерживается постоянной с точностью до $\pm 0,5\%$.

Число оборотов диска, отсчитываемое при поверке счетчика, выбирается таким, чтобы соответствующее время было не менее 50 с.

Описание схемы установки

Для поверки счетчика Wh однофазного тока индукционной системы класса 2,5 по образцовым приборам собирается схема с двумя независимыми цепями, в одну из которых входит параллельная обмотка счетчика, а в другую - последовательная обмотка с регулируемой нагрузкой (рис.23).

Параллельная обмотка счетчика питается через делитель напряжения D , а контрольный вольтметр V измеряет напряжение U , подведенное к ней и к параллельной обмотке ваттметра W .

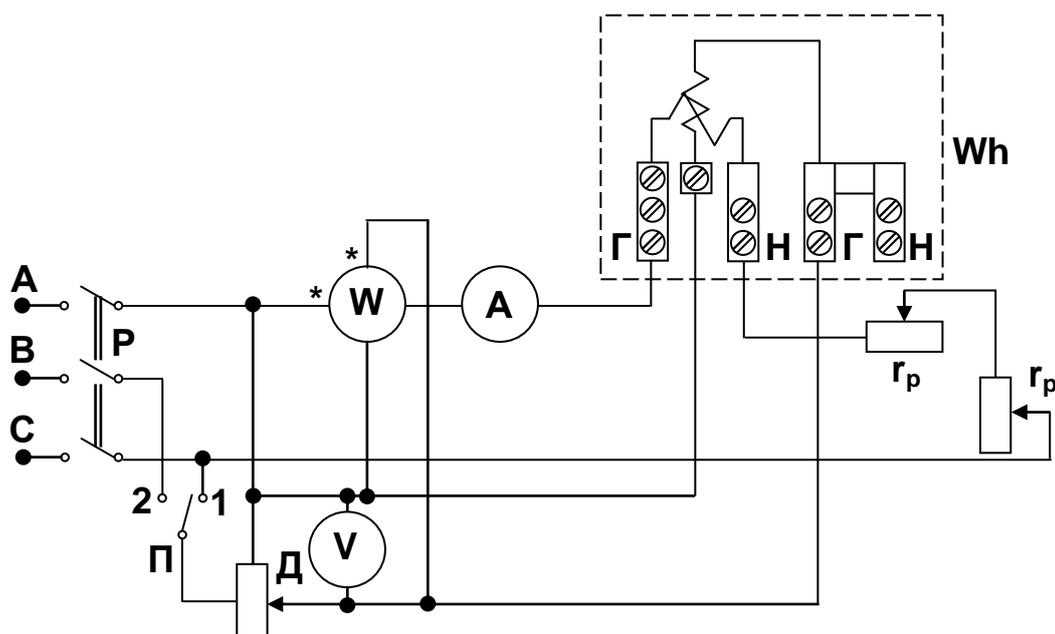


Рисунок 23 – Схема поверки счетчика активной энергии однофазного тока

Однополюсным переключателем Π можно делитель напряжения D подключить к фазе B или C , чем достигается изменение угла сдвига фаз между напряжением, подводимым к параллельной обмотке счетчика, и током, протекающим по его последовательной обмотке.

В положении 1 ток I последовательных обмоток электроизмерительных приборов совпадает по фазе с напряжением U_{AC} , приложенным к их параллельным обмоткам и $\cos\varphi=1$, а в положении 2, когда к параллельным обмоткам прикладывается напряжение U_{AB} , опережающее напряжение U_{AC} на угол 60° (рис. 24), ток I становится отстающим по фазе от напряжения U_{AB} на угол 60° и коэффициент мощности $\cos\varphi=0,5$.

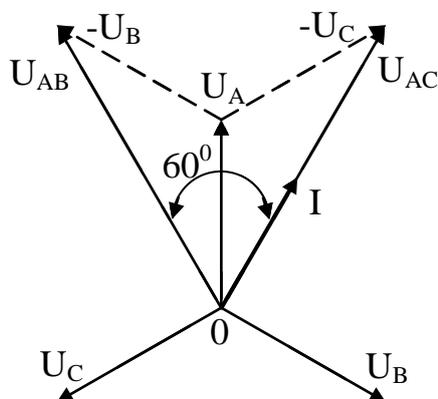


Рисунок 24 – Векторная диаграмма напряжений и токов

Образцовый ваттметр желательно брать электродинамической системы класса 0,5, а контрольные приборы – вольтметр и амперметр – электромагнитной системы класса 2,5.

Промежутки времени, соответствующие выбранным числам оборотов диска счетчика, измеряются при помощи пружинного или электрического секундомера.

Проведение эксперимента и обработка результатов

1 Собрать схему (см. рис.23) для поверки счетчика однофазного тока, ввести в последовательную цепь реостаты r_p и r_p' полностью, подключить однополюсным переключателем П делитель напряжения Д к фазе С, а ручку его поставить в положение, отвечающее наименьшему напряжению U , подводимому к параллельным обмоткам измерительных приборов, и после проверки схемы руководителем подать питание.

2 Делителем напряжения Д медленно поднять напряжение до номинального, реостатами r_p и r_p' установить номинальный ток счетчика, записать начальное показание счетчика W_1 и поддерживать этот режим, необходимый для прогрева его обмоток, в течение 15 мин, а затем записать конечное показание счетчика W_2 , используя в дальнейшем эти данные для поверки работы

счетного механизма, после чего приступить к испытанию счетчика при различных нагрузках. Результаты наблюдений свести в таблицу 14.

Таблица 14

Напря- жение U, В	Показания		Время t, мин.	Отсчеты по счетчику, кВт-ч	
	Амперметра I', А	Ваттметра P', дел.		Начальный W ₁	Конечный W ₂

3 Установить нагрузочными реостатами r_p и r_p' ток в последовательной обмотке счетчика, близкий к 10, 20, 50, 75, 100, 150% номинального значения, указанного на паспорте счетчика, делителем напряжения Д поддерживать номинальное напряжение и определить время, отвечающее целым числам оборотов диска счетчика при указанных нагрузках, строго следя, чтобы при проведении каждого опыта стрелка ваттметра все время находилась на определенном делении шкалы, (желательно число отсчитываемых оборотов диска N выбирать кратным 20 так, чтобы соответствующее им время, отсчитываемое по секундомеру, t было не менее 50 с).

4 Для каждой нагрузки опыт необходимо проделать дважды и за действительное время t взять среднее арифметическое отсчетов, полученных по секундомеру. Данные опытов свести в таблицу 15.

5 Поставить однополюсный переключатель П в положение 2 и провести поверку работы счетчика при тех же нагрузках, но при $\cos\varphi=0,5$. Результаты наблюдений свести в таблицу, аналогичную таблице 15.

6 Для определения чувствительности счетчика установить однополюсный переключатель П в положение 1, отрегулировать реостатами r_p и r_p' ток, близкий 1,5% номинального тока счетчика, а затем, поддерживая делителем напряжения Д номинальное напряжение, изменить ток и найти ту наименьшую мощность P_{\min} , при которой диск будет вращаться без остановки.

7 Разорвать последовательную цепь счетчика, отсоединив, например, какой-либо провод, идущий к одному из реостатов, и делителем напряжения постепенно изменять напряжение, начиная от 80 до 110% U_H , и записать то напряжение $U_{\text{сам}}$, при котором начнется самоход, т.е. непрерывное вращение диска при отсутствии нагрузки.

8 Вычислить по паспортным данным счетчика его номинальную постоянную С и дать заключение о правильности работы счетного механизма.

Таблица 15

№ опыта	Напряжение U, В	Показания		Число оборотов диска N	Время t, мин	Нагрузка, %
		Амперметра I', А	Ваттметра P', дел.			
1						~10
2						~10
3						~20
4						~20
5						~50
6						~50
7						~75
8						~75
9						~100
10						~100
11						~150
12						~150

9 Учитывая, что действительный расход электроэнергии при потребляемой мощности P за время t определяется по формуле

$$W_0 = Pt = C_{BT}(\alpha + \sigma_{BT}), \quad (64)$$

подсчитать для всех произведенных опытов величину действительной постоянной счетчика C_0 и относительную погрешность $\gamma_{\text{относ}}$ его показаний, представив результаты расчетов в виде таблицы 16.

В формуле (64) C_{BT} – цена деления образцового ваттметра, Вт/дел.; α – показание ваттметра, дел.; σ_{BT} – поправка для данной отметки шкалы согласно свидетельству на образцового ваттметра, дел.

10 На основании таблицы 16 построить в одной координатной системе графические зависимости $C_0=f(I)$ и $\gamma_{\text{относ}}=f(I)$ при $\cos\varphi=1$, а в другой – те же зависимости при $\cos\varphi=0,5$, а также подсчитать чувствительность S счетчика и найти величину напряжения $u_{\text{САМ}}$, при котором наблюдается самоход, выразив ее в процентах номинального напряжения U_H , т.е.

$$u_{сам} = \frac{U_{сам}}{U_n} \cdot 100\% . \quad (65)$$

Таблица 16

№ опыта	Данные наблюдений					Результаты вычислений				примечания
	U, В	I, А	P, кВт	N, оборотов	t, с	W ₀ , Вт·с	C ₀ , Вт·с/об	W, Вт·с	γ _{относ} , %	
1-2										cosφ=1
3-4										
5-6										
7-8										
9-10										
11-12										
1-2										cosφ=0,5
3-4										
5-6										
7-8										
9-10										
11-12										

11 Дать заключение о пригодности исследуемого счетчика к дальнейшей эксплуатации.

Контрольные вопросы

- 1 Электрические счетчики: назначение, классификация. Что называется номинальной и действительной постоянной счетчика и как находятся их численные значения?
- 2 Устройство и принцип действия однофазного индукционного счетчика.
- 3 Как проверить правильность работы счетного механизма счетчика электрической энергии?
- 4 Что называется относительной погрешностью счетчика и какая она допускается для счетчиков класса 2,5, находящихся в эксплуатации?
- 5 Как определить чувствительность счетчика и его самоход?
- 6 Устройство и принцип действия двухэлементного однодискового трехфазного счетчика.

7 Устройство и принцип действия двухэлементного двухдискового трехфазного счетчика.

8 Включение счетчиков через трансформаторы тока.

9 Включение счетчиков через трансформаторы тока и трансформаторы напряжения.

10 Особенности измерения энергии электродинамическим счетчиком. Устройство и принцип действия электродинамического счетчика.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Измерение сопротивления изоляции электрических установок

Цель работы:

1) Изучить методы измерения сопротивления изоляции электрических установок.

2) Познакомиться с устройством мегомметра и проверить правильность градуировки его крайних делений.

3) Измерить сопротивление изоляции проводов электрической сети, находящейся в различных эксплуатационных условиях.

4) Определить величину сопротивления изоляции обмоток электрических машин.

Основные теоретические положения

Исправно работать любая электроизмерительная установка может только при нормальном состоянии изоляции между отдельными токоведущими частями, а также между ними и землей.

Измерять сопротивление изоляции необходимо перед вводом установки в эксплуатацию, после каждого ее расширения и периодически в течение всего срока эксплуатации.

В соответствии с правилами и нормами измерение сопротивления изоляции необходимо производить под рабочим напряжением, но не ниже 100 В, определяя его не только между отдельными проводами и землей, но и между любой парой проводов, находящихся под разными потенциалами.

Сопротивление изоляции проводов относится к разряду больших сопротивлений, отличается непостоянством, так как на него влияют: напряжение,

влажность, температура и другие физические величины, вследствие чего большая точность при его измерении не требуется.

В тех случаях, когда установка не находится под напряжением, измерение сопротивления изоляции производится обычно при помощи мегомметров.

Мегомметры в большинстве своем имеют встроенный электромашинный источник постоянного тока напряжением 100-2500 В с ручным приводом и измерительный прибор, в качестве которого может быть использован магнитоэлектрический гальванометр с добавочным сопротивлением (испытатель изоляции типа МПИ) либо магнитоэлектрический логометр с добавочными сопротивлениями (мегомметры типов МОМ-5, М-11-1, МС=06 и др.).

Испытатели изоляции с магнитоэлектрическим гальванометром неудобны, так как для получения необходимого напряжения, влияющего на результат измерения, надо во время измерения вращать ручку привода генератора с определенной скоростью.

В мегомметрах с магнитоэлектрическим логометром изменение скорости вращения в значительных пределах почти не влияет на результат измерения. Поэтому они и получили в настоящее время преимущественное распространение.

Логометры находят также применение и в других специализированных приборах, например в четырехзажимном измерителе сопротивления заземляющих устройств типа МС-07 и др.

Логометр (рис.25) представляет собой магнитоэлектрический прибор с двумя скрепленными вместе и сидящими на одной оси перекрывающимися катушками 1 и 2, которые находятся в неравномерном магнитном поле постоянного подковообразного магнита.

Отсутствие в приборе противодействующих пружин приводит к тому, что при обесточивании подвижной системы последняя находится в безразличном равновесии и может занимать любое положение.

В цепи каждой обмотки логометра находятся значительные постоянные сопротивления $r_{д1}$ и $r_{д2}$, например, в мегомметре типа МОМ-5 величины их составляют: $r_{д1} = 200000$ Ом и $r_{д2} = 100000$ Ом.

Концы от этих сопротивлений выводятся к зажимам: *линия* и *земля*, к которым присоединяется измеряемое сопротивление r_x .

При вращении встроенного генератора ручкой Р, выведенной на боковую стенку прибора, со скоростью порядка 90-150 об/мин генерируется электриче-

ская энергия под напряжением 100-2500 В, и по обмоткам 1 и 2 текут соответственно токи I_1 и I_2 , которые обратно пропорциональны величинам сопротивлений соответствующих параллельных цепей, т.е.

$$I_1 = \frac{U}{r_1 + r_{Д1}}, \quad (65)$$

и

$$I_2 = \frac{U}{r_2 + r_{Д2} + r_X}, \quad (66)$$

где r_1 и r_2 – сопротивления соответственно обмоток 1 и 2.

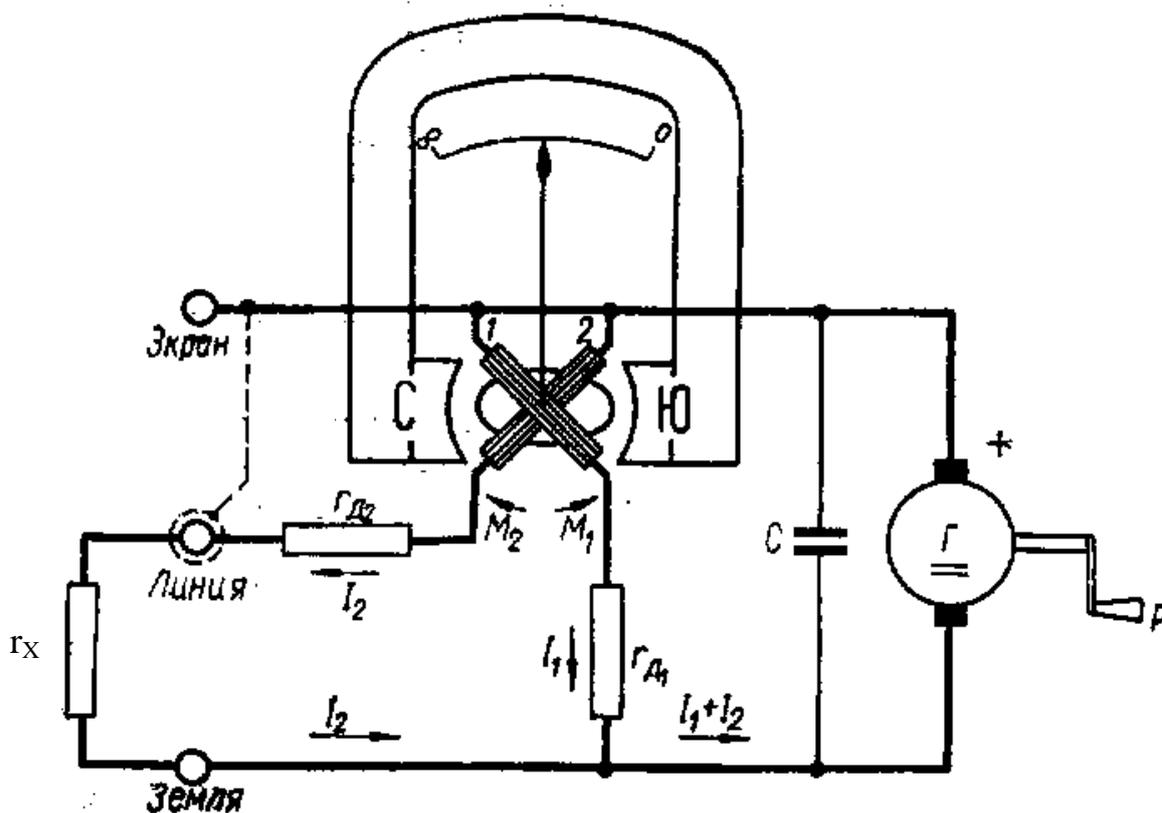


Рисунок 25 – Принципиальная схема мегомметра с логометром

В результате взаимодействия токов I_1 и I_2 с магнитным полем постоянного магнита возникнут противоположно направленные моменты M_1 и M_2 , которые приведут подвижную систему в движение.

При некотором повороте катушек моменты M_1 и M_2 уравниваются и стрелка прибора остановится на определенном делении шкалы.

Угол α поворота подвижной системы логометра зависит только от величины соотношения токов в устанавливающей 1 и отклоняющей 2 обмотках

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2 + r_{D_2} + r_X}{r_1 + r_{D_1}}, \quad (67)$$

и не зависит от абсолютного значения величин I_1 и I_2 .

Следовательно, величина напряжения и скорость вращения привода не влияют на результат измерения.

Так как в рассматриваемой схеме переменной величиной может быть только измеряемое сопротивление r_X , то шкалу прибора можно проградуировать непосредственно в мегаомах.

В нормально действующем мегомметре при вращении рукоятки привода и отсутствии тока в катушке 2 ($r_X = \infty$) стрелка прибора устанавливается на крайнее деление шкалы, около которого стоит знак ∞ . При наибольшем токе в этой же катушке ($r_X = 0$) стрелка прибора находится на другом крайнем делении шкалы, отвечающем нулю.

Для того, чтобы приблизить условия работы изоляции к эксплуатационным и одновременно выявить ее слабые места, обладающие недостаточной электрической прочностью, в мегомметрах применяют повышенное напряжение постоянного тока, обычно равное 100, 500, 1000 или 2500 В, пульсации которого сглаживаются конденсатором C емкостью порядка 0,05 мкФ (см. рис.25).

Мегомметром можно измерять сопротивления между отдельными элементами электрического устройства, сопротивление изоляции между одним проводом *линии* и *землей*, а также сопротивление между двумя разомкнутыми проводами линии.

Перед измерением необходимо проверить правильность совпадения стрелки мегомметра с делениями на шкале 0 и ∞ . Для этого проводником закорачивают зажимы *линия-земля* и вращают ручку со скоростью 90-150 об/мин. При этом стрелка должна стоять на нулевом делении шкалы. Аналогично при разомкнутых зажимах *линия-земля* и вращении ручки проверяют совпадение стрелки с делением шкалы ∞ .

Во всех случаях измерения зажимы *линия-земля* должны быть присоединены к тем элементам электрической цепи, между которыми измеряют сопротивление.

Для устранения влияния утечки тока между зажимами *линия* и *земля* на результаты измерения обычно зажим *линия* окружается металлическим экраном, который соединен с дополнительным зажимом мегомметра – "экран", имеющим соединение с положительным полюсом генератора.

Отсчет по шкале прибора производят при скорости вращения ручки привода генератора порядка 90-150 об/мин. Вращать ручку со скоростью 150 об/мин не рекомендуется во избежание преждевременного износа механической части мегомметра. Имеются также мегомметры без электромашинного источника постоянного тока, питание которых обеспечивается сетью переменного тока через кенотронный выпрямитель, снабженный феррорезонансным стабилизатором напряжения сети (ламповый мегомметр МОМ-3).

При пользовании мегомметрами необходимо следить за тем, чтобы электрические цепи, подвергающиеся измерению, были обесточены. В противном случае приборы могут быть повреждены или измерение произведено неправильно.

Сопротивление изоляции $r_{из}$ проводов сети после капитального ремонта на любом участке между двумя предохранителями или за последним предохранителем должно быть не менее 1000 Ом, умноженных на число вольт рабочего напряжения, т.е.

$$r_{из} \geq 1000U_n, \quad (68)$$

а для сети, находящейся в эксплуатации, $r_{из}$ допускается не менее 500 Ом/В.

При более низком сопротивлении изоляции проводов сети необходимо проводить соответствующие ремонтные работы.

При измерении сопротивления изоляции в силовых цепях все электроприемники отключаются и удаляются плавкие вставки предохранителей. В осветительных сетях лампы накаливания вывинчиваются из патронов, осветительная арматура (штепсельные розетки, выключатели и групповые щетки) присоединяются, а плавкие вставки также удаляются.

Хотя правилами технической эксплуатации величина сопротивления изоляции $r_{из}$ между отдельными обмотками и корпусом электрической машины и не нормируется, но заводы-изготовители указывают, что минимальная величина сопротивления изоляции после просушки при 60 °С и измерении мегомметром на 500 В для всех обмоток при $U \leq 500$ В должна быть не менее 0,5 МОм.

Следует иметь в виду, что сопротивление изоляции машины необходимо измерять при ее рабочей температуре θ , так как при измерении в холостом состоянии результаты измерения могут оказаться удовлетворительными даже при увлажненной изоляции, поскольку $r_{из}=f(\theta)$.

Измерение сопротивления изоляции двухпроводной сети, находящейся под напряжением, выполняется вольтметром V с вольтметровым переключателем ВП (рис.26) и сводится к поочередному измерению трех напряжений: сети - U , между одним проводом и землей - U_1 , а также между другим проводом и землей - U_2 .

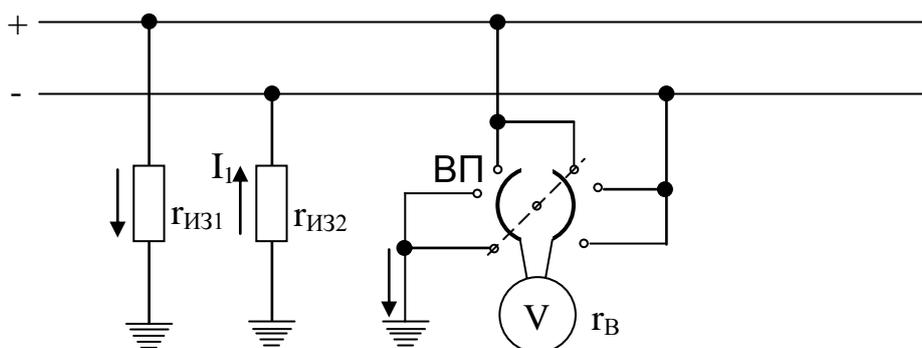


Рисунок 26 – Схема измерения сопротивления изоляции двухпроводной сети при помощи вольтметра

При хорошем состоянии изоляции двухпроводной сети оба последних показания U_1 и U_2 вольтметра должны быть близкими к нулю, так как сопротивление изоляции проводов $r_{из1}$ и $r_{из2}$ по отношению к земле во много раз больше сопротивления обмотки r_B вольтметра.

При соединении вольтметра с положительным проводом ток через изоляцию отрицательного провода

$$I_1 = \frac{U - U_1}{r_{из2}} = \frac{U}{\frac{r_B r_{из1}}{r_B + r_{из1}} + r_{из2}}, \quad (69)$$

а при присоединении его к отрицательному проводу ток через изоляцию положительного провода

$$I_2 = \frac{U - U_2}{r_{из1}} = \frac{U}{\frac{r_B r_{из2}}{r_B + r_{из2}} + r_{из1}}. \quad (70)$$

Решая совместно уравнения (69) и (70), найдем, что сопротивление изоляции положительного провода относительно земли определится:

$$r_{из1} = r_B \frac{U - U_1 - U_2}{U_2}, \quad (71)$$

а сопротивление изоляции отрицательного провода относительно земли будет:

$$r_{из2} = r_B \frac{U - U_1 - U_2}{U_1}. \quad (72)$$

Для контроля состояния изоляции в двухпроводных сетях постоянного тока можно вместо одного вольтметра с вольтметровым переключателем применить два стационарно включенных вольтметра (рис.27). При удовлетворительном состоянии изоляции оба вольтметра будут показывать одинаковое напряжение, равное половине напряжения, действующего между проводами сети.

Если сопротивление изоляции одного из проводов ухудшится, то вольтметр, подключенный к этому проводу, уменьшит свое показание, а второй вольтметр соответственно увеличит показание, ибо в сумме они дают напряжение, действующее в двухпроводной сети.

В сетях трехфазного тока контроль за состоянием изоляции удобно осуществить по схеме рис.28, где каждый из трех вольтметров включен между соответствующим проводом и землей. При хорошем качестве изоляции все вольтметры показывают одинаковое напряжение, равное фазному. Если повреждена изоляция одного из проводов, то подключенный к нему вольтметр уменьшит свое показание, а два других вольтметра увеличат их. При замыкании какого-либо провода на землю его вольтметр будет показывать нуль, а два других – линейное напряжение, действующее между проводами сети трехфазного тока.

Описание схемы установки

Измерение сопротивления изоляции установки производится на участке двухпроводной сети. Величина сопротивлений $r_{из1}$ и $r_{из2}$, каждого провода относительно земли и между ними $r_{из}$ при отсутствии напряжения в сети измеряется мегомметром, а в том случае, когда изоляция находится под напряжением, величины $r_{из1}$ и $r_{из2}$ находятся по показаниям вольтметров, включенных по схеме рис.29.

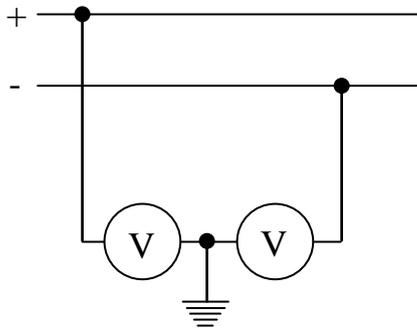


Рисунок 27 – Схема контроля состояния изоляции двухпроводной сети постоянного тока

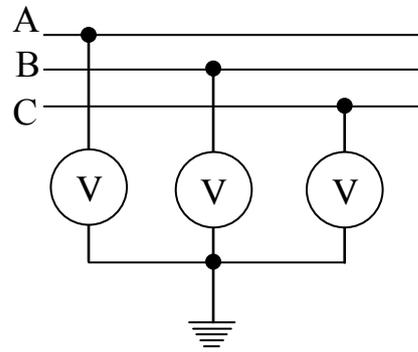


Рисунок 28 – Схема контроля состояния изоляции трехпроводной сети трехфазного тока

Для проверки состояния изоляции проводов трехпроводной сети собирается установка с тремя вольтметрами (см.рис.28).

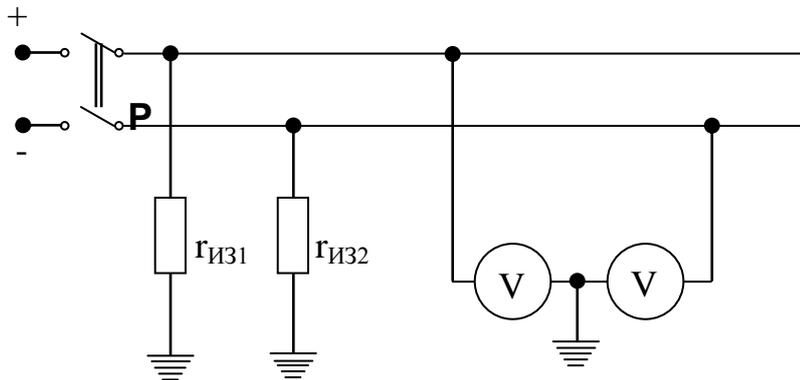


Рисунок 29 – Схема измерения и контроля изоляции сети постоянного тока

Измерение величины сопротивления изоляции обмоток электрической машины выполняется мегомметром применительно к асинхронному двигателю трехфазного тока с короткозамкнутым ротором, у которого шесть концов С1-С4, С2-С5, С3-С6 от трех обмоток статора выведены к соответствующим зажимам, смонтированных на щитке машины (рис.30).

Вольтметры для сети постоянного тока берутся магнитоэлектрической, а для сети трехфазного тока – электромагнитной системы.

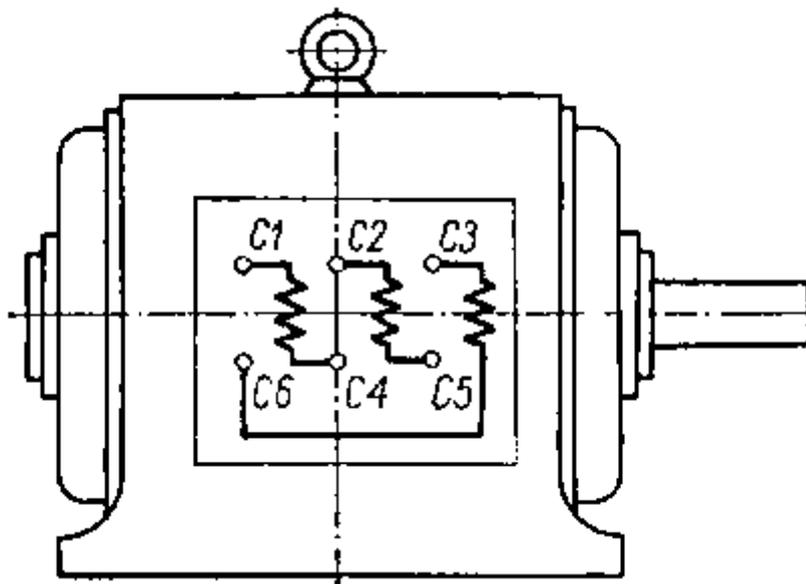


Рисунок 30 – Расположение выводов обмоток статора электродвигателя трехфазного тока

Проведение эксперимента и обработка результатов

1 Измерение сопротивления изоляции проводов сетей

1 Снять напряжение с участка двухпроводной сети, подлежащей испытанию.

2 Проверить правильность установки стрелки мегомметра на делениях 0 и ∞ , помня, что при вращении его ручки нельзя касаться зажимов прибора, а также присоединенных проводов, так как разность потенциалов между ними доходит до значений, опасных для жизни.

3 Присоединить поочередно испытываемые провода к зажиму *линия*, а зажим *земля* - к надежно заземленному проводнику и, вращая ручку прибора со скоростью 90-150 об/мин, производить отсчеты по шкале прибора.

4 Присоединить один провод к зажиму *линия*, а другой - к зажиму *земля* и измерить сопротивление изоляции между ними. Результаты наблюдений по пунктам 4 и 5 свести в таблицу 17.

Таблица 17

№ опыта	Величина сопротивления изоляции $r_{\text{Изи}}$, МОм	№ проводов
1		1
2		2
3		1-2

5 Собрать схему измерения сопротивления изоляции проводов относительно земли (см.рис.29) и после проверки схемы руководителем, подать двух-

полюсным рубильником Р напряжение на испытуемый участок двухпроводной линии, произвести необходимые измерения, результаты которых свести в таблицу 18.

Таблица 18

№ опыта	Показания вольтметров, В			Примечания
	U ₁	U ₂	U	
1				r _B = Ом

6 Собрать схему (см.рис.28) и измерить напряжение между каждым проводом трехфазной сети и землей. Результаты наблюдений свести в таблицу 19.

Таблица 19

№ опыта	Показания вольтметров, В		
	U ₁	U ₂	U ₃
1			

7 Вычислить величину сопротивления изоляции r_{изи} каждого провода линии постоянного тока относительно земли, сравнить полученные данные с отсчетами r'_{изи}, полученными по мегомметру, и подсчитать относительное расхождение между ними:

$$\Delta r_{изи} = \frac{r'_{изи} - r_{изи}}{r_{из\ ср}}, \quad (73)$$

где $r_{из\ ср} = \frac{r'_{изи} - r'_{изи}}{2}, \quad i=1,2. \quad (74)$

Результаты наблюдений свести в таблицу 20.

Таблица 20

№ опыта	Данные наблюдений					Результаты вычислений			
	r _{из1} , МОм	r _{из2} , МОм	U ₁ , В	U ₂ , В	U, В	r' _{из1} , МОм	r' _{из2} , МОм	Δr' _{из1} , %	Δr' _{из2} , %
1									

8 Считая рабочее напряжение линии 500 В, дать заключение о качестве изоляции исследованных проводов и о возможности введения их в эксплуатацию.

9 Привести соображения о качестве изоляции проводов сети трехфазного тока относительно земли.

2 Измерение сопротивления изоляции обмоток статора электродвигателя трехфазного тока проводов сетей

1 Присоединить мегомметр зажимом *линия* к одной из обмоток статора, зажимом *земля* - к корпусу машины и измерить величину сопротивления обмотки относительно корпуса.

Проделать аналогичные измерения с двумя другими обмотками статора и результаты измерений записать в таблицу 21.

Таблица 21

№ опыта	Величина сопротивления изоляции обмоток статора относительно корпуса $r_{изз}$			Номинальные данные машины
	Фаза I	Фаза II	Фаза III	
1				$U_H =$,В $P_H =$ кВт

2 Измерить сопротивление между обмотками статора и результаты измерений представить в таблице 22.

Таблица 22

№ опыта	Величина сопротивления изоляции обмоток статора относительно корпуса, $r_{изз}$		
	Фаза I-II	Фаза II-III	Фаза III-I
1			

3 Дать заключение о качестве изоляции обмоток статора электродвигателя трехфазного тока и возможности включения его в работу.

Контрольные вопросы

1 Для чего необходимо периодически измерять величину сопротивления изоляции в электротехнических установках?

2 Устройство и принцип действия мегомметра.

3 Почему в мегомметрах предпочитают в качестве измерительного прибора иметь логометр?

4 Каким способом проверяется правильность нанесения на шкалу мегомметра крайних делений?

5 Как измерить сопротивление изоляции проводов линии постоянного тока относительно земли, если она находится под напряжением?

6 Какие приборы следует устанавливать на щите для контроля состояния изоляции электротехнической установки?

7 Виды повреждений кабеля.

8 Метод Муррея.

9 Измерение заземлений методом вольтметра и амперметра.

10 Какое минимальное сопротивление изоляции допускается в электротехнических установках при номинальном значении напряжения до 500 В?

Приложение А

Форма бланка для выполнения лабораторных работ

ДГМА	Факультет ФАМ	Группа
Кафедра ЭСА	Дисциплина Основы метрологии и электрические измерения	Ф.И.О.
Дата выполнения:	Дата защиты:	Рейтинг:
		№ бригады:

Лабораторная работа № __.

Тема работы: _____.

- 1** Цель работы: _____.
- 2** Выполнение работы.
 - 1** Схема установки.
 - 2** Таблицы наблюдений.
- 3** Обработка результатов.
 - 1** Перечень измерительных приборов, аппаратуры и оборудования, использованных при проведении опытов.

№ п/п	Наименование прибора	Предел измерения	Цена деления	Система прибора	Класс точности	Положение прибора	Вид тока	Испытательная изоляция
1								
2								

- 2** Основные теоретические зависимости, использованные при расчетах и вычислениях.
 - 3** Таблицы с результатами проведенных опытов и расчетов.
 - 4** Графические зависимости и диаграммы.
- 4** Вывод.

Приложение Б

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ

При выполнении работ в электротехнических лабораториях студенты обязаны помнить о возможном поражении электрическим током и необходимости соблюдения правил техники безопасности.

Следует знать, что в тех случаях, когда электрический ток, протекающий через внутренние органы человека, оказавшегося в электрической цепи, превышает 0,05-0,1 А, электротравма обычно заканчивается смертельным исходом.

Поэтому величина опасного напряжения для человека определяется соотношением

$$U_{\text{опасн}} \geq 0,05r_{\text{ч}},$$

где $r_{\text{ч}}$ - сопротивление того участка тела, между точками которого действует разность потенциалов $U_{\text{опасн}}$.

Так как величина $r_{\text{ч}}$ является весьма неопределенной, зависящей от многих факторов, то не представляется возможным указать численное значение напряжения $U_{\text{опасн}}$, опасного для жизни человека.

В отдельных случаях сопротивление человека может снизиться до нескольких сот Ом, так что напряжение 127 В, на которое привыкли смотреть как на безопасное, становится опасным и может привести к серьезной электротравме. По этой причине в производственных условиях переносные лампы и светильники местного освещения питаются напряжением 36 В, а при особо неблагоприятных условиях работы – напряжением 12 В. Исходя из этого студенты, выполняющие работы в электротехнических лабораториях, не должны прикасаться к неизолированным проводам, соединительным зажимам и другим частям электрических цепей, находящихся под напряжением.

Если в собранной схеме требуется сделать какое-либо пересоединение, то предварительно ее нужно отключить от источника электрической энергии. После пересоединения схема должна быть обязательно проверена руководителем лабораторных занятий и только по получении его разрешения она может быть вновь подключена к источнику питания.

Особенно следует быть осторожным при работе с цепями переменного тока, в которых имеется последовательное соединение катушек и конденсато-

ров, поскольку напряжение на их зажимах может в отдельных случаях намного превышать напряжение источника питания.

Не следует также размыкать вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока, когда по первичным обмоткам течет ток, размыкать цепи с катушками, имеющими большое число витков, например цепи возбуждения машин постоянного тока, находящиеся в рабочем состоянии, так как при этом возникают значительные ЭДС самоиндукции, опасные как для экспериментаторов, так и для самих обмоток.

Особую осторожность необходимо соблюдать при работе с вращающимися агрегатами, особенно при необходимости измерения их скорости вращения. Во избежание возможного заматывания одежды работающих вращающимися деталями машин, в том числе и гладкими валами, она должна быть плотно облегающей, без развевающихся концов.

Прикосновение к движущимся и вращающимся частям электрических машин, например с целью торможения, рукой или ногой, даже при выключенном источнике электрической энергии недопустимо.

Несоблюдение правил техники безопасности приводит не только к травматизму, но в отдельных случаях вызывает серьезные повреждения и выход из строя дорогой измерительной аппаратуры и электромашинного оборудования.

Приложение В

Условные буквенные обозначения основных расчетных величин

<i>Наименование величины</i>	<i>Обозначение</i>
Время	t
Емкость электрическая	C
Индуктивность	L
Индуктивность взаимная	M
Индукция магнитная	B
Количество электричества	q
Коэффициент мощности	$\cos \varphi$
Коэффициент полезного действия	η
Температурный коэффициент электрического сопротивления	α
Мощность электрической цепи активная	P
Мощность электрической цепи полная	S
Мощность электрической цепи реактивная	Q
Напряжение	U
Напряженность магнитного поля	H
Напряженность электрического поля	E
Период электрического тока	T
Плотность электрического тока	J
Постоянная магнитная	μ_0
Постоянная электрическая	ε_0
Потенциал в данной точке магнитный	φ_M
Потенциал в данной точке электрический	φ
Поток магнитный	Φ
Потокоцепление	Ψ
Проводимость магнитная	g_M
Проводимость удельная электрическая	γ
Проводимость электрическая активная	g
Проводимость электрической цепи комплексная	Y
Проводимость электрической цепи полная	y
Проводимость электрической цепи реактивная	b

Продолжение приложения В

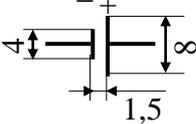
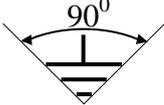
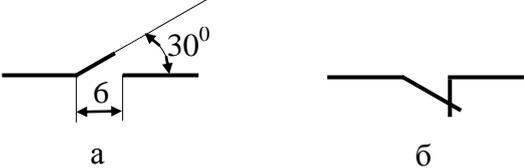
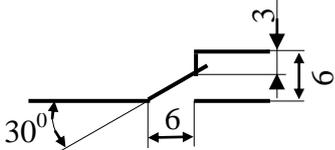
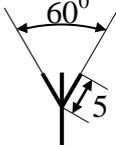
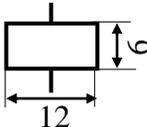
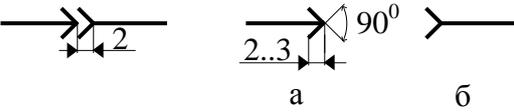
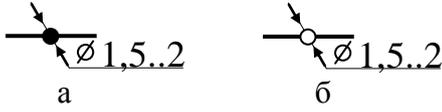
<i>Наименование величины</i>	<i>Обозначение</i>
Проницаемость абсолютная диэлектрическая	ε_a
Проницаемость абсолютная магнитная	μ_a
Проницаемость относительная диэлектрическая	ε
Проницаемость относительная магнитная	μ
Работа	A
Разность фаз напряжения и тока	φ
Скорость вращения	n
Сопротивление удельное электрическое	ρ
Сопротивление электрической цепи – активное	r
Сопротивление электрической цепи – комплексное	Z
Сопротивление электрической цепи – полное	z
Сопротивление электрической цепи – реактивное	x
Ток электрический	I
Фаза начальная	ψ
Частота	ω
Частота электрического тока	f
Число витков обмотки	N
Энергия магнитного поля	W_M
Энергия электрическая	W
Энергия электрическая - активная	W_a
Энергия электрическая - реактивная	W_p
Энергия электрического поля	W_ε
Энергия электромагнитного поля	$W_{\varepsilon M}$

Приложение Г

Условные графические обозначения в электрических схемах

Название	Обозначение						
<p>Машина электрическая:</p> <p>а – ротор;</p> <p>б – статор</p>							
Катушка индуктивности, обмотка							
Дроссель с ферромагнитным сердечником							
Трансформатор однофазный с ферромагнитным сердечником							
Предохранитель плавкий							
Резистор							
<p>Конденсаторы:</p> <p>а – постоянной емкости;</p> <p>б – электролитический</p>							
<p>Прибор электроизмерительный:</p> <p>а – показывающий;</p> <p>б – интегрирующий</p>							
<p>Диод полупроводниковый:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">а</td> <td style="padding: 2px;">5</td> <td style="padding: 2px;">6</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">б</td> <td style="padding: 2px;">4</td> <td style="padding: 2px;">5</td> </tr> </table>	а	5	6	б	4	5	
а	5	6					
б	4	5					
<p>Транзистор типа $p-n-p$</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">D</td> <td style="padding: 2px;">12</td> <td style="padding: 2px;">14</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">9</td> <td style="padding: 2px;">11</td> </tr> </table>	D	12	14	A	9	11	
D	12	14					
A	9	11					

Продолжение приложения Г

<i>Название</i>	<i>Обозначение</i>
Транзистор типа <i>n – p – n</i>	
Лампа накаливания	
Элемент гальванический или аккумулятор	
Заземление	
Корпус	
Контакт коммутационного устройства: а - замыкающий; б - размыкающий	
Переключатель однополюсный	
Антенна	
Реле	
Соединение контактное разъ- емное: а - штырь; б – гнездо	
Соединения контактные: а – неразборное; б - разборное	

Приложение Д

Указания, относящиеся к поверке амперметров, вольтметров и ваттметров

При эксплуатации приборов могут иметь место повреждения, изменения и износ отдельных частей прибора, что приводит к нарушению нормальной работы прибора и появлению недопустимых погрешностей. Это делает необходимым производить поверку приборов не только при выпуске их с завода (первичная поверка), но и периодически во время их эксплуатации.

Поверкой прибора (средства измерения) называется определение погрешностей прибора и установление его пригодности к применению или определение, находятся ли погрешности в допустимых границах.

Поверка прибора состоит из четырех частей: 1) внешнего осмотра прибора; 2) выбора образцового прибора и подготовки к поверке; 3) поверки показаний прибора; 4) документального оформления поверки.

1 Внешний осмотр прибора имеет целью выявить дефекты, которые могут препятствовать дальнейшему применению прибора, например: повреждение стекла, корректора, стрелки или наличие отсоединившихся деталей и т.п.

2 Выбор образцового прибора производится: а) по роду тока; б) по номинальным значениям величин; в) по классу точности.

Род тока, на котором производится поверка, определяется системой поверяемого прибора, его конструкцией, свойствами и назначением. Например: приборы магнитоэлектрической системы поверяются только на постоянном токе; приборы индукционной системы – только на переменном токе; приборы термоэлектрической и электромагнитной систем – или на постоянном или на переменном. При выборе рода тока следует учитывать имеющийся на шкале поверяемого прибора знак рода тока.

При выборе образцового прибора по номинальным значениям его параметра необходимо, чтобы его верхний предел измерения был равен верхнему пределу измерения поверяемого прибора или близок к нему; в противном случае относительные (но не приведенные) погрешности образцового прибора могут быть недопустимо велики.

При выборе образцового прибора по классу точности необходимо, чтобы допустимая (приведенная) погрешность его была по крайней мере в 3 раза меньше допустимой (приведенной) погрешности поверяемого прибора. Таким

образом, поверка приборов классов точности 1,5 и 2,5 производится по приборам класса точности 0,5; поверка приборов класса точности 1 – по приборам класса 0,1; а приборов классов 0,1 и 0,2 может производиться только на компенсаторах, которые обеспечивают погрешность 0,02-0,03%. При применении компенсаторов для поверки приборов необходимо пользоваться нормальным элементом класса точности 0,005 или 0,02.

Поверка технических приборов производится путем сравнения их показаний с показаниями образцовых приборов.

Схема соединения для поверки технических приборов должна быть такой, чтобы при поверке амперметра ток поверяемого амперметра был в точности равен току образцового амперметра, при поверке вольтметра напряжение на поверяемом в точности равнялась напряжению на образцовом вольтметре, а при поверке ваттметра (счетчика, фазометра) ток последовательной обмотки поверяемого ваттметра был равен току соответствующей обмотки образцового ваттметра и напряжение на параллельной цепи поверяемого ваттметра было равно напряжению на соответствующей цепи образцового ваттметра.

Кроме того, схема поверки и применяемая аппаратура должны обеспечить: 1) возможность плавной регулировки показаний приборов на протяжении всей рабочей части шкалы; 2) наименьший расход энергии при поверке; 3) удобство работы.

После сборки схемы рукоятки регулирующих устройств устанавливаются в положения, соответствующие наименьшим показаниям приборов (наименьшим значениям токов и напряжений).

3 Поверке подлежат все основные (оцифрованные) деления шкалы. Поэтому перед замыканием рубильника стрелки приборов устанавливают на нулевые деления шкал, что и отмечается в протоколе как первое наблюдение. После этого схему подключают к источнику напряжения и при помощи регулирующих устройств изменяют ток или напряжение так, чтобы стрелка поверяемого прибора последовательно устанавливалась над каждым основным делением шкалы, при этом производят запись показаний обоих приборов. Регулировку следует вести так, чтобы показания поверяемого прибора сначала от нуля постепенно увеличивались до номинального значения, а затем плавно уменьшались до нуля. После размыкания рубильника производится определение положения стрелок приборов и делается запись последнего наблюдения. Если после

размыкания рубильника стрелка поверяемого прибора не дойдет до нуля, то это укажет на наличие заметной погрешности от трения.

Приложение E

Допустимые условия работы элементов электрических цепей

Каждая электрическая цепь состоит из ряда элементов: 1) источника электрической энергии; 2) приемников электрической энергии; 3) регулирующих приборов и аппаратов (реостаты, реактивные катушки); 4) измерительных приборов; 5) коммутационных приборов и аппаратов (рубильники, переключатели); 6) соединительных проводов.

Источниками электрической энергии являются генераторы, аккумуляторы или гальванические элементы.

Генератор характеризуется: а) номинальным напряжением U_H , током I_H и мощностью P_H ; б) номинальной скоростью вращения n_H ; в) родом тока, а генераторы переменного тока, кроме того - номинальной частотой f_H .

Аккумуляторы и гальванические элементы характеризуются: а) номинальной ЭДС E_H и разрядным номинальным током I_H ; б) емкостью, т.е. количеством электричества, которое можно получить от аккумулятора или элемента.

Приемниками электрической энергии являются двигатели, нагревательные приборы, лампы накаливания, резисторы и т.п.

Нагревательные приборы, лампы накаливания и другие приемники энергии характеризуются номинальными напряжением, током или мощностью, а некоторые из них – родом тока и частотой.

Резисторы и реостаты характеризуются значением сопротивления и номинальным током.

Коммутационные приборы также характеризуются номинальными значениями тока и напряжения.

Номинальным значением (тока, напряжения, мощности) называется значение, указанное заводом на щитке соответствующей машины или аппарата.

Номинальное значение представляет собой наибольшее значение параметра, на которое рассчитана и изготовлена машина или аппарат с учётом условий допустимой электрической и механической прочности и допустимого нагревания при длительной работе. Таким образом, машину или аппарат нельзя нагружать выше номинальных значений во избежание перегрузки или недопустимого нагрева.

Наиболее часто применяемыми измерительными приборами являются амперметр, вольтметр, ваттметр. Они характеризуются системой, определяющей свойства прибора, классом точности и номинальными значениями тока, напряжения, мощности.

Соединительные провода можно нагружать током исходя из условий допустимого нагревания их током (допустимые токи для сечения проводников: $1 \text{ мм}^2 - 17 \text{ А}$; $1,5 \text{ мм}^2 - 23 \text{ А}$; $2,5 \text{ мм}^2 - 17 \text{ А}$; $4 \text{ мм}^2 - 41 \text{ А}$; $6 \text{ мм}^2 - 50 \text{ А}$; $10 \text{ мм}^2 - 80 \text{ А}$) или из условий допустимого падения напряжения в них.

Перед монтажом каждой электрической цепи необходимо проверить возможность применения каждого прибора или аппарата в данной цепи, т.е. проверить, соответствуют ли номинальные значения величин отдельных машин, приборов и аппаратов друг другу, так как в противном случае отдельные элементы схемы могут оказаться в ненормальных условиях (одни могут быть перегружены, другие, наоборот, могут оказаться в условиях значительной недогрузки и не будут выполнять своего назначения).

Рабочая часть шкалы вольтметра (амперметра) обычно начинается с 20 %-ного номинального напряжения (тока).

В лабораторных работах требуется: 1) ознакомиться с приборами для производства работы и записать номинальные значения величин; 2) проверить возможность применения имеющейся аппаратуры в данной схеме.

Список рекомендуемой литературы

- 1 Основы метрологии и электрические измерения : Учебник для вузов/ Под ред. Е.М.Душина. – Л.: Энергоиздат, 1987. – 480 с., ил.
- 2 Попов В.С. Электрические измерения (с лабораторными работами): Учебник для техникумов. –М.: Энергия, 1974. –400с., ил.
- 3 Электрические измерения: Учебник для вузов/ Под ред. А.В.Фремке и Е.М.Душина. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. – 392 с., ил.
- 4 Шаповаленко О.Г. Основи електричних вимірювань: Підручник/ О.Г.Шаповаленко, В.М.Бондар -К. :Либідь, 2002.-320 с.
- 5 Туричин А.М. Электрические измерения. – М.;Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 340 с.: ил.
- 6 Тартаковский Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учебник для вузов/ Д.Ф.Тартаковский, А.С.Ястребов. – М.: Высш. школа, 2002. –205 с., ил.
- 7 Методи і засоби вимірювання електричних величин у прикладах та задачах: Учбовий посібник /В.І. Бондаренко, О.В. Давіденко, В.І. Дякін, В.І. Піскляров, П.І. Татарський. – К.: УМКВО, 1990. – 143 с.
- 8 Иванов А.А. Лабораторные работы по основам электротехники и электрическим измерениям. –К.: Гостехиздат УССР,1961. –420 с.

Методические указания
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ
«ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»
для студентов специальности
«Электромеханические системы автоматизации и электропривод»
дневной формы обучения

Составитель Иван Петрович Кутковой

Редактор Нелли Александровна Хахина

Подп. в печ. _____ Формат 60x84 1/16.
Ризографическая печать. Усл. печ. л. ____ Уч.-изд.л. _____
Тираж 75 экз. _____

ДДМА. 84313, г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72