

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Курганский государственный университет
Кафедра автоматизации производственных процессов

**ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИЛЛИВОЛЬТМЕРА
В КОМПЛЕКТЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕРМОМЕТРА**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы для студентов
специальности 220301 “Автоматизация технологических процессов и
производств” (в машиностроении)

Курган 2004

Кафедра автоматизации производственных процессов

Дисциплина “Метрология, стандартизация и сертификация” (специальность 220301)

Составила старший преподаватель Дмитриева О.В.

Утверждены на заседании кафедры “ 2 ” сентября 2004г.

Рекомендованы методическим советом университета
“ _____ ” _____ 2004г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Термоэлектрический метод измерения температуры	4
2. Устройство и характеристики промышленных термоэлектрических термометров	6
3. Принцип действия электромеханических измерительных приборов магнитоэлектрической системы	7
4. Метрологические характеристики	9
5. Погрешности измерений	10
6. Выполнение работы	12
7. Контрольные вопросы	14
Литература	14
Приложения	15

Цель работы - изучение устройства, испытание, поверка и переградуировка показывающего милливольтметра с профильной шкалой, предназначенного для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическим термометром; определение погрешностей измерения и установление соответствия реальных метрологических характеристик установленному для него классу точности; приобретение навыков экспериментального исследования аппаратуры автоматики, предназначенной для измерения температуры.

Оборудование: вольтметр магнитоэлектрической системы, термоэлектрический термометр, потенциометр, нагревательный прибор, ртутный термометр, реостаты, секундомер.

1. Термоэлектрический метод измерения температуры

В основу измерения температуры термоэлектрическими термометрами положен термоэлектрический эффект, заключающийся в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух или нескольких разнородных проводников, возникает электрический ток, если хотя бы два места соединения (спая) проводников имеют разную температуру.

Если вдоль проводника существует градиент температур, то электроны на горячем конце приобретают более высокие энергии и скорости. В полупроводниках, кроме того, концентрация электронов растет с температурой. В результате возникает поток электронов от горячего конца к холодному, на холодном конце накапливается отрицательный заряд, а на горячем остается некомпенсированный положительный. Накопление заряда продолжается до тех пор, пока возникшая разность потенциалов не вызовет равный обратный поток электронов. Алгебраическая сумма таких разностей потенциалов в цепи создает одну из составляющих термоэлектродвижущей силы. Другие составляющие связаны с температурной зависимостью контактной разности потенциалов и эффектами увлечения электронов фононами (квантами упругих волн). То есть число фононов, движущихся от горячего конца к холодному, больше, чем движущихся навстречу, и в результате увлечения ими электронов на холодном конце также накапливается отрицательный заряд. Эта составляющая играет определяющую роль при низких температурах.

Подобная цепь называется термоэлектрическим преобразователем или иначе термопарой; проводники, составляющие термопару, - термоэлектродами, а места их соединения – спаями.

ТермоЭДС при небольшом перепаде температур между спаями можно считать пропорциональной разности температур:

$$E_{AB} = \alpha \Delta \Theta,$$

(1)

где α – коэффициент Зеебека,
 $\Delta \Theta$ – разность температур.

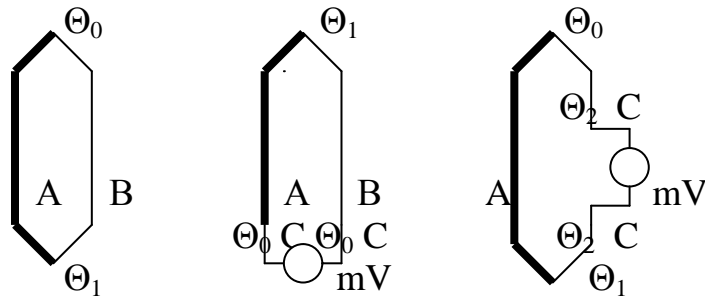


Рис.1. Схема измерения термоЭДС

Электронная теория дает лишь качественное объяснение термоэлектрического эффекта. Количественное определение термоЭДС на основании теории невозможно, т.к. число свободных электронов, приходящихся на единицу объема, не поддается количественному учету и неизвестен закон их изменения в зависимости от изменения температуры спаев.

Опыт показывает, что у любой пары однородных проводников значение термоЭДС зависит только от природы проводников и от температуры спаев и не зависит от распределение температуры вдоль проводников. Термоэлектрический контур можно разомкнуть в любом месте и включить в него один или несколько разнородных проводников. Если все появившиеся при этом места соединений находятся при *одинаковой* температуре, то не возникает никаких паразитных термоЭДС. В лабораторных условиях температуру холодных спаев обычно поддерживают равной 0°C. В этом случае спаи погружают в сосуд (пробирку) с маслом, который в свою очередь помещают в сосуд со льдом. Холодные спаи могут находиться и при комнатной температуре, но при этом должны быть погружены в сосуд с маслом, температура которого контролируется.

В производственных условиях для автоматического введения поправки на температуру холодных спаев применяют мостовые электрические схемы, в которых одно из плеч неравновесного моста образуется медным сопротивлением, изменение значения которого от температуры приводит к разбалансу моста. Разность потенциалов на вершинах моста при этом равна по величине и противоположна по знаку термоЭДС термоэлектрического термометра, вызванной отклонением температуры ее холодных спаев от градуировочной. От термопары до компенсационного моста прокладываются термоэлектродные провода, от моста до измерительного прибора – медные.

2. Устройство и характеристики промышленных термоэлектрических термометров

Одна из наиболее распространенных конструкций промышленных термоэлектрических термометров приведена на рис.2

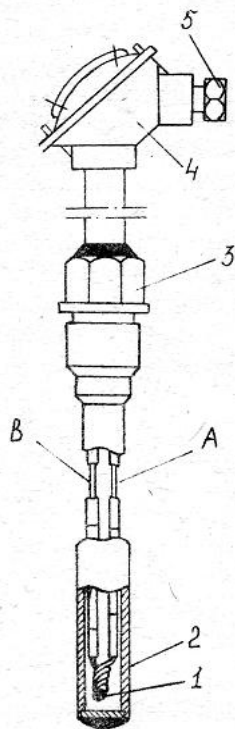


Рис.2. Термоэлектрический термометр:

А, В – термоэлектроды; 1- спай; 2 – защитный кожух; 3 – штуцер; 4 – корпус головки; 5 – штуцер

Спай термометра 1, получаемый путем сварки термоэлектродов А и В, располагается в нижней части защитного кожуха 2, выполняемого из стальной трубы. Установка термометра на трубопроводах и технологических аппаратах различного назначения производится с помощью резьбового штуцера 3. термопарные электроды соединяются с проводами на специальной колодке, расположенной внутри корпуса головки 4 термоэлектрического термометра. Герметизация выводов соединительных термоэлектродов обеспечивается с помощью штуцера 5.

Характеристики термопар со стандартными градуировками, которые применяются в промышленных измерениях, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики термоэлектрических термометров

Обозначение	Градуировка	Количество чувствительных элементов	Пределы измерения, °С	Длина погружной части, м	Условное давление, МПа	Показатель тепловой инерции, с
ТХК-0515Б	ХК	1	-50...+600	0,12...0,32	6,4	До 40
ТХК-0525	ХК	2	-50...+600	0,32...2,0	0,25	До 120
ТХК-0515А	ХК	2	-50...+600	0,12...1,25	6,4	До 120
ТХК-0806	ХК	1	-50...+600	0,5...3,2	2,5	До 210
ТХК-0796	ХК	1	-50...+600	0,16...1,25	4	До 210
ТХА/К-0525Б	ХК, ХА	2	-50...+600	0,12...0,32	6,4	До 40
ТХА-0515Б	ХА	1	-50...+600	0,12...0,32	6,4	До 40
ТХА-0525	ХА	2	-50...+900	0,31...2,0	2,5	До 120
ТХА-0515А	ХА	2	-50...+900	0,12...1,25	6,4	До 120
ТХА-806	ХА	1	0...1000	0,5...3,2	2,5	До 210
ТХА-0796	ХА	1	0...1000	0,15...1,25	4	До 210

3. Принцип действия электромеханических измерительных приборов магнитоэлектрической системы

К электроизмерительным приборам относятся приборы для измерения величины тока (амперметры), напряжения (вольтметры) и мощности (ваттметры) в цепях постоянного и переменного тока.

Электроизмерительные приборы делятся на два основных класса: стрелочные, в которых под действием электромагнитных сил происходит механическое перемещение указателя (стрелки, зеркальца и т.п.), и цифровые, в которых применяются электронные методы измерения и представления информации без преобразования ее в механическое движение.

В зависимости от принципа действия стрелочные приборы делятся на магнитоэлектрические, электромагнитные, электростатические и другие.

Приборы магнитоэлектрической системы предназначены для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. Схема отклоняющего механизма магнитоэлектрического прибора показана на рис.2.

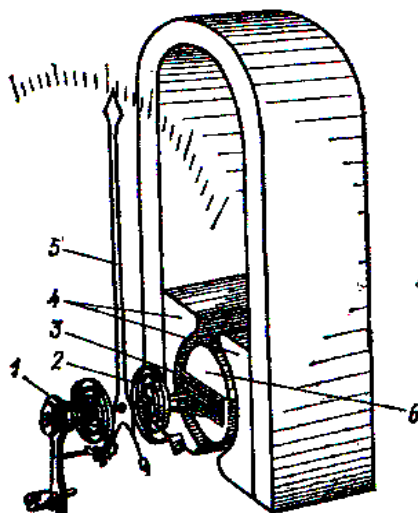


Рис.2. Механизм магнитоэлектрического прибора:

1 – ось; 2 – пружины; 3 – рамка; 4 – полюсные наконечники; 5 – указатель; 6 – сердечник

Прямоугольная рамка с витками изолированного провода (3), по которым проходит измеряемый ток, находится в кольцевом зазоре. За счет постоянного магнита с полюсными наконечниками (4) и цилиндрического сердечника (6) в зазоре создается радиальное магнитное поле. Рамка удерживается в зазоре и может вращаться за счет осей (1). При отсутствии тока рамка с прикрепленными к ней указателем (5) удерживается на нулевом делении шкалы двумя пружинами (2). В чувствительных приборах вместо осей и спиральных пружинок используются две ленточные растяжки. Измеряемый ток подводится к виткам через пружинки или растяжки. При протекании через витки измеряемого тока появляется вращающий рамку момент сил. Угол поворота определяется равенством момента спиральных пружин и момента сил, обусловленного протеканием тока в рамке, и пропорционален измеряемому току, в котором и градуируется шкала прибора.

$$\varphi = \frac{nBS}{w} I, \quad (2)$$

где n – количество витков;

B – индукция магнитного поля;

S – площадь витка;

w – удельный противодействующий момент.

Обычно сопротивление обмотки рамки составляет 100...1000 Ом, ток полного отклонения – 100 мкА...1А и при непосредственном включении рамки в цепь прибор можно использовать в качестве микроамперметра, миллиамперметра или милливольтметра.

При включении постоянного тока рамка приходит к равновесию в

режиме затухающего колебательного процесса. Таким образом, можно выделить три режима движения подвижной части.

Периодический - подвижная часть совершает колебания около отметки действительного значения измеряемой величины.

Апериодический - подвижная часть достигает установившегося значения без колебаний.

Критический - подвижная часть достигает установившегося значения без колебаний за минимальное время.

К достоинствам магнитоэлектрических приборов следует отнести: высокую чувствительность – до $3 \cdot 10^{-11}$ А, высокую точность – до 0,1%, малое потребление мощности – $10^{-5} \dots 10^{-6}$ Вт. Вследствие того что магнитоэлектрические приборы обладают высокой чувствительностью и малым собственным потреблением, они широко используются в сочетании с преобразователями для создания приборов переменного тока (например, выпрямительных, электронных и термоэлектрических).

Недостатки: сложность изготовления и ремонта, недопустимость перегрузок по току (перегорают или меняют свои физико-механические свойства токоподводящие пружинки, растяжки, обмотка рамки).

4. Метрологические характеристики

Электроизмерительные приборы характеризуются: диапазоном измерений; погрешностями; чувствительностью; мощностью, потребляемой от источника измеряемой величины; зависимостью показаний от влияющих величин (температуры окружающей среды, формы кривой и частоты измеряемого тока или напряжения и т. д.).

Абсолютная погрешность прибора есть разность между показанием прибора x_n и действительным значением измеряемой величины x_d :

$$\Delta = x_n - x_d. \quad (3)$$

За действительное значение измеряемой величины принимается ее значение, найденное экспериментально (например, с помощью образцового прибора) и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели оно может быть использовано вместо него.

Относительная погрешность прибора есть отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\delta = \Delta / x_d. \quad (4)$$

Вследствие того, что числовые значения погрешностей выражаются не более чем двумя значащими цифрами, во многих случаях допустимо абсолютную погрешность относить к показанию измерительного прибора:

$$\delta \approx \Delta / x_n. \quad (5)$$

Приведенная погрешность прибора есть отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению:

$$\gamma = \Delta / x_n. \quad (6)$$

Нормирующее значение для прибора с равномерной или степенной шкалой обычно принимается равным конечному значению рабочей части шкалы (верхнему пределу измерения), если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы.

Класс точности прибора — обобщенная характеристика прибора, определяемая пределами допускаемой основной погрешности и намерением показаний прибора под действием влияющих величин, а также другими свойствами прибора. Зная класс точности прибора, можно найти предел допускаемой основной погрешности — наибольшую основную погрешность прибора, допущенного к применению.

Для амперметров, вольтметров и ваттметров класс точности чаще всего численно равен пределу допускаемой основной приведенной погрешности прибора.

Чувствительностью S прибора к измеряемой величине называется производная от положения указателя по измеряемой величине:

$$S = da / dx = F(x). \quad (7)$$

Для приборов с равномерной шкалой чувствительность постоянна. Величина, обратная чувствительности, называется постоянной прибора:

$$C = 1 / S. \quad (8)$$

При подключении электроизмерительного прибора от источника сигнала потребляется некоторая мощность, параметры цепи изменяются. Это приводит к искажению режима работы источника сигнала и вызывает погрешность метода намерения (методическую погрешность). Основное требование к электроизмерительным приборам сводится к минимизации влияния прибора на параметры и режим работы объекта измерений.

5. Погрешности измерений

При измерении температуры термоэлектрическим термометром в сочетании с милливольтметром основными источниками погрешностей измерения являются следующие:

- 1) отклонение градуировочной характеристики от стандартной градуировочной таблицы;
- 2) термоэлектрическая неоднородность термоэлектродов;
- 3) неучтенные при измерении колебания температуры свободных концов термометра;
- 4) несоответствие сопротивления внешней цепи стандартному значению;
- 5) отклонение термоэлектрической характеристики компенсационных проводов от характеристики термоэлектрических термометров;

- б) неравенство температур в местах соединения компенсационных температур с термоэлектродами и в местах соединения компенсационных проводов с соединительными проводами;
- 7) основная погрешность и вариация показаний милливольтметра;
- 8) отклонение температуры прибора от градуировочной;
- 9) воздействие внешних магнитных полей;
- 10) наклон прибора.

Источники погрешностей, указанные в пп.1 и 2, неизбежны при изготовлении термопары и эксплуатации ее в условиях высокой температуры в среде, которая химически воздействует на термоэлектрический термометр.

Погрешности, указанные в п.3, могут быть уменьшены путем термостатирования свободных концов или применением специальных мостовых компенсационных схем. В случае применения компенсационных проводов свободными спаями термопары являются места соединения компенсационных проводов с соединительными медными проводами.

Погрешности, указанные в п.4, устраняются при монтаже всего измерительного комплекта. Следует помнить, что разность потенциалов на зажимах милливольтметра всегда меньше термоЭДС термопары на величину падения напряжения на внешнем сопротивлении (сопротивление термопары и соединительных проводов).

Напряжение на зажимах милливольтметра

$$U = \frac{ER_r}{R_r + R_{вн}}, \quad (9)$$

где U – показания вольтметра,

E – термоЭДС,

R_r – сопротивление вольтметра,

$R_{вн}$ – сопротивление термопары и проводов.

Из вышеизложенного понятно, что для уменьшения погрешности необходимо уменьшать внешнее сопротивление.

При правильном выборе типа удлинительных проводов погрешность п.5 незначительна.

Погрешность п.6 устраняется или уменьшается правильным монтажом.

Погрешность п.7 неизбежна при изготовлении милливольтметра. Ее величина может быть определена при поверке милливольтметра.

Погрешность п.8 устраняется введением поправки в показания прибора при помощи корректора.

Для исключения погрешности 9 прибор не должен устанавливаться вблизи магнитных полей.

Погрешность п.10 устраняется правильной установкой прибора. Влияние наклона на показания прибора проверяется в соответствующем пункте лабораторной работы.

6. Выполнение работы

1. Подробно ознакомиться с устройством и принципом действия прибора.
2. Ознакомиться с маркировкой прибора. Уметь объяснить все обозначения, пользуясь приложением 1.
3. Установить стрелку при помощи корректора на нулевую отметку.
4. Определить исправность измерительной системы вольтметра. Убедиться в отсутствии обрывов в цепи милливольтметра и свободном ходе стрелки. Для этого вольтметр подключить к источнику питания и плавным движением ползунка реостата прогнать стрелку по всей шкале прибора. После отключения напряжения стрелка не должна отходить от нулевой отметки.
5. Определить время успокоения прибора. Для этого нужно определить время между моментом включения прибора и моментом, начиная с которого стрелка милливольтметра не отходит от своего окончательного положения на расстояние, превышающее 1% от длины шкалы.

Подключить милливольтметр к источнику питания и при помощи регулировочного устройства установить его стрелку на цифровой отметке, ближайшей к середине шкалы. После отключения прибора и успокоения стрелки прибор вновь включить с целью определения характера колебаний (периодические или аperiodические). Убедившись, что значение величины, измеряемой прибором, остается неизменным и стрелка после успокоения колебаний останавливается на выбранной отметке шкалы, прибор отключить.

Затем отключить прибор и одновременно пустить в ход секундомер для определения времени успокоения. Для приборов с периодическими колебаниями за время успокоения принимается промежуток времени от момента включения прибора до того момента, когда стрелка в последний раз отклонилась от своего положения на расстояние, превышающее 1% от длины шкалы. Для приборов с аperiodическими колебаниями стрелки за время успокоения принимается промежуток времени от момента включения до того

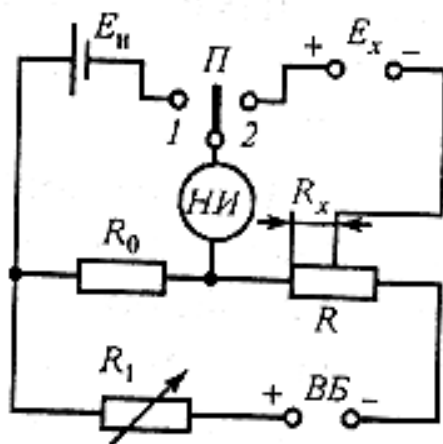


Рис. 3 Схема поверки

момента, когда стрелка приблизится к своему окончательному положению на расстояние, составляющее 1% от длины шкалы. Время успокоения не должно превышать 12 секунд. За действительное время успокоения колебаний принимается среднее арифметическое результатов трех измерений.

6. Собрать схему поверки прибора компенсационным методом (рис.3). Провести поверку, результаты которой занести в протокол.

Целью поверки является определение основной погрешности и вариации в показаниях на каждой цифровой отметке шкалы путем подачи на зажимы прибора напряжения от источника тока с поверкой его величины образцовым прибором.

При выключенном приборе стрелку милливольтметра корректором установить на нуль. Включить потенциометр и реостатами плавно перевести стрелку милливольтметра к первой поверяемой отметке. Провести отсчет и записать показания поверяемого милливольтметра и потенциометра.

Так же провести поверку всех оцифрованных отметок до конца шкалы. Провести отсчеты при движении от конца к началу шкалы. Невозвращение стрелки к началу шкалы не должно превышать половины допускаемой основной погрешности.

Результаты поверки оформить в виде протокола по прилагаемому образцу (см. приложение 2).

Вычислить величины абсолютных погрешностей и вариации прибора по формулам:

$$\Delta_1 = A_1 - E_x, \quad (10)$$

$$\Delta_2 = A_2 - E_x, \quad (11)$$

$$\Delta_E = |\Delta_1 - \Delta_2|. \quad (12)$$

Относительную приведенную погрешность определить в процентах от диапазона шкалы прибора по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta_{\max}}{E_{\max} - E_{\min}} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где Δ_{\max} – наибольшая из полученных абсолютная погрешность показаний.

Аналогично определить приведенное значение вариации

$$E = \frac{\Delta_{\varepsilon \max}}{E_{\max} - E_{\min}} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Результаты расчетов занести в протокол поверки. Относительная приведенная погрешность и вариация исправного прибора не должны превышать основной допустимой погрешности, т.е. должны соответствовать установленному классу точности прибора.

7. Произвести поверку уравниваемости подвижной системы.

Поверка производится при наклоне прибора по очереди в каждую из четырех сторон на 10° с определением значений измеряемой величины для отметок, ближайших к 30, 50 и 100% шкалы.

За действительное значение принять среднее арифметическое двух измерений – при прямом ходе и при обратном. По результатам этих измерений вычислить Δ_g для каждой отметки.

Для каждой из трех отметок вычислить дополнительную погрешность γ_g , обусловленную влиянием неуравновешенности подвижной системы прибора:

$$\gamma_g = \frac{A_i - A}{\Delta A} \cdot 100\% = \frac{\Delta_d}{A_k - A_n} \cdot 100\%, \quad (15)$$

где A_i – показания прибора;

A – действительное значение измеряемой величины;

A_k – значение конечной отметки шкалы;

A_n – значение начальной отметки шкалы прибора.

8. Ознакомиться с устройством термоэлектрического термометра. Обратить внимание на изоляцию и на соединение концов термоэлектродов между собой.

9. Произвести переградуировку шкалы милливольтметра для измерения температуры. Термоэлектрический термометр (ТЭТ) присоединить к милливольтметру (не забыть, что $R_{вн} \ll R_T$). Корректором установить стрелку прибора на нуль. Включить нагрев печи. Через каждые 10°C в 4-5 точках по ртутному термометру снять показания вольтметра.

Дать остыть термопаре, одеть на нее чехол. Снять показания милливольтметра (термопара в чехле). По полученным данным определить динамическую погрешность термопары по формуле:

$$\delta = \frac{T_{pm} - T_{mn}}{T_{pm}} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где $T_{рт}$ – показания ртутного термометра;

$T_{тп}$ – показания милливольтметра, проградуированного в $^\circ\text{C}$.

Расчетные формулы и результаты расчетов занести в отчет.

Контрольные вопросы













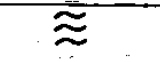




1. Опишите принцип действия магнитоэлектрических измерительных приборов.
2. Для измерения каких неэлектрических величин применяются милливольтметры?
3. Перечислите основные метрологические характеристики измерительных приборов.
4. В чем заключается принцип действия термоэлектрических термометров?
5. Перечислите погрешности измерения температуры термоэлектрическими термометрами.
6. Укажите способы уменьшения погрешностей измерения температуры.

Литература

1. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. -М.:Высшая школа,2001.-205с.
2. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин. Методы измерения: Учеб.пособие для вузов.-Л.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Алиев Т.М. и др. Измерительная техника: Учеб. пособие для техн. вузов. –М.: Высшая школа, 1991 – 382 с.

Приложение

Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
Прибор электромагнитный	
Прибор электродинамический	
Прибор электростатический	
Прибор магнитоэлектрический с выпрямителем	
Прибор магнитоэлектрический с электронным преобразователем в измерительной цепи (электронный прибор)	
Ток постоянный	
Ток переменный (однофазный)	
Ток постоянный и переменный	
Ток трехфазный переменный (общее обозначение)	
Прибор применять при вертикальном положении шкалы	
Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
Класс точности прибора, например, 1,5	
Напряжение испытательное, например, 2 кВ	
Прибор защищен от влияния внешнего магнитного поля (I категория защищенности)	
Прибор защищен от влияния внешнего электрического поля (I категория защищенности)	
Внимание! Смотри указания в инструкции по эксплуатации прибора	

Протокол

Дата _____

поверки милливольтметра типа _____ № _____

класса точности _____

с пределами измерения от _____ до _____.

Поверка производилась по образцовому потенциометру № _____.

Замечания по внешнему осмотру _____

Результаты поверки

Показания образцового потенциометра, мВ		Погрешности поверяемого прибора				
		Абсолютные, мВ			Относительные, %	
Прямой ход A_1	Обратный ход A_2	Прямой ход Δ_1	Обратный ход Δ_2	Вариация Δ_E	Приведенная погрешность γ	Вариация ϵ

Дмитриева Ольга Венедиктовна

**ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ
МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИЛЛИВОЛЬТМЕРА В
КОМПЛЕКТЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕРМОМЕТРА**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы для студентов
специальности 220301 “Автоматизация технологических процессов и
производств” (в машиностроении)

Редактор Т.В.Тимофеева

Подписано к печати		Бумага тип.№1
Формат 60x84 1/16	Усл.печ.л. 1,25	Уч.изд.л. 1,25
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета.
640669, г.Курган, ул.Гоголя 25.
Курганский государственный университет, ризограф.