

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электроснабжения и электротехники

**МЕТРОЛОГИЯ И ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА.**

Рабочая тетрадь для выполнения лабораторных работ

Выполнил: студент АЭФ \_\_\_\_\_ гр \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

Минск  
БГАТУ  
2024

**ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ПРИБОРОВ МЕТОДОМ СЛИЧЕНИЯ ИХ ПОКАЗАНИЙ  
С ПОКАЗАНИЯМИ ЭТАЛОНОВ**

Цель работы:

1. Ознакомиться с общими требованиями и правилами поверки электромеханических измерительных приборов.
2. Усвоить основные метрологические понятия.
3. Произвести поверку электромеханического амперметра и вольтметра.

**Общие сведения**

Количественной характеристикой качества результата измерений может служить погрешность.

**Погрешностью** измерения называют отклонение *результата* измерения от *истинного значения* величины.

Одним из постулатов метрологии является положение о том, что *истинное значение* величины существует, однако определить его путем измерения невозможно. Поэтому при оценке погрешности измерения вместо *истинного значения* величины используют *опорное значение величины*. Во многих практических случаях в качестве *опорного значения* используют так называемое *действительное значение*.

*Действительное значение* – это значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько близкое к *истинному значению*, что для поставленной измерительной задачи может его заменить. За действительное значение величины чаще всего принимают измеренное значение, полученное при использовании эталона или калиброванного средства измерений.

По *способу выражения* различают *абсолютную* и *относительную* погрешности измерения.

Под *абсолютной* погрешностью  $\Delta X$  понимается разность между *измеренным значением*  $X$  данной величины и ее *опорным* (действительным) значением  $X_0$  ( $X_d$ )

$$\Delta X = X - X_0 = X - X_d. \quad (1.1)$$

*Абсолютная* погрешность имеет размерность, выраженную в тех же единицах, что и сама измеряемая величина.

Более полное представление о точности измерения дает относительная погрешность, определяемая как отношение *абсолютной* погрешности к *опорному* (действительному) значению измеряемой величины, выраженное в процентах, т. е.

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_0} \cdot 100 \% = \frac{\Delta X}{X_d} \cdot 100 \% \approx \frac{\Delta X}{X} \cdot 100 \% . \quad (1.2)$$

Относительная погрешность характеризует точность измерения и точность прибора лишь в данной точке шкалы.

Для характеристики погрешности средств измерений и получения возможности сравнения по точности приборов различных типов и систем, с различными диапазонами измерений, вводится понятие *приведенной погрешности*, представляющей собой выраженное в процентах отношение *абсолютной* погрешности  $\Delta X$  к *нормирующему значению*  $X_N$ , устанавливаемому в стандартах на конкретные разновидности средств измерений:

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100 \% . \quad (1.3)$$

Нормирующее значение  $X_N$  для большинства электромеханических приборов принимается равным *конечному значению* шкалы прибора, если нулевая отметка прибора находится на краю или вне шкалы. По *условиям определения* погрешности *средств измерений* подразделяются на *основную* и *дополнительные*.

*Основной* называется погрешность средств измерений, применяемых в *нормальных условиях* эксплуатации (нормальных параметрах внешней среды: температуре, влажности, атмосферном

давлении; правильном геометрическом расположении, соответствующих прибору частоте, роду тока, формы кривой тока и т. п.). При отклонении условий измерения от *нормальных* возникают *дополнительные* погрешности измерения.

Для сопоставления средств измерений, предназначенных для измерения одной и той же величины, по точности, служит *класс точности*.

**Класс точности** – *обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности и выражаемая точностными характеристиками средств измерений.*

Для большинства аналоговых электромеханических приборов, у которых преобладает *аддитивная* (неизменная во всем диапазоне измерений) составляющая погрешности, *класс точности* устанавливается по *допустимой основной приведенной погрешности*. Следовательно, для таких приборов, *класс точности* указывает в процентах *допустимую основную приведенную погрешность*, гарантируемую производителем.

Для определения годности средств измерений проводится их *поверка*.

*Поверка* – установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средств измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверка проводится в обязательном порядке при выпуске прибора из производства, после ремонтов и регулировок приборов, а также периодически. Сроки периодических поверок измерительных приборов регламентируются органами Госстандарта.

Поверка технических щитовых приборов может производиться на местах их установки методом сличения их показаний с показаниями рабочих эталонов.

Поверка измерительного прибора включает в себя его внешний осмотр для установления механической и электрической исправности, определение основной погрешности и других метрологических характеристик, нормируемых наравне с погрешностями при установлении класса его точности, документальное оформление поверки протоколом.

Поверяемый прибор не должен иметь повреждений указателя (стрелки), корректора, корпуса и стекла шкалы. Все его клеммы и контакты, электрические цепи должны быть исправны.

Электроизмерительные приборы классов точности 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0 поверяются по методу сличения их показаний с показаниями рабочих эталонов. Такой метод поверки требует выполнения следующих метрологических условий:

1. Допустимая абсолютная погрешность рабочего эталона должна быть не менее чем в 4 раза меньше допустимой абсолютной погрешности поверяемого прибора, или в 2,5 раза меньше при введении поправок в показания рабочего эталона.

2. Диапазоны частот и диапазоны измерений рабочих эталонов должны включать соответствующие диапазоны поверяемого прибора.

3. Указатели (стрелки) приборов устанавливаются корректором на нулевую отметку шкалы при отключенных цепях тока и напряжения.

4. Поверка прибора осуществляется на *всех числовых отметках* шкалы не менее *двух* раз на каждой отметке: один раз при возрастании (от 0 до верхнего предела шкалы), второй раз при убывании (от верхнего предела шкалы до 0) измеряемой величины.

Наряду с основной и дополнительными погрешностями при установлении классов точности электромеханических приборов нормируется *вариация показаний*.

*Вариация показаний* измерительного прибора – разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к этой точке со стороны *меньших* и *больших* значений измеряемой величины.

Если для измерительного прибора нормируется приведенная погрешность, то и *вариация показаний* выражается в процентах от нормирующего значения  $X_N$ :

$$V = \frac{X_B - X_Y}{X_N} \cdot 100, \quad (1.4)$$

где  $V$  – вариация показаний прибора;  $X_b$  – показание эталона при возрастающих, а  $X_y$  – при убывающих значениях измеряемой величины.

Для технических приборов *вариация* показаний не должна превышать *абсолютного значения основной приведенной погрешности прибора*.

По данным поверки определяются наибольшая *основная приведенная погрешность* и *вариация* и если они *меньше предельного допустимого значения* для данного класса точности, то делается заключение о годности прибора, в противном случае прибор признается *негодным*.

### Порядок выполнения работы

#### Поверка амперметра электромагнитной системы

1. Собрать схему поверки (рис. 1.1).
2. Проверить положения указателей на нулевых делениях шкалы при отсутствии тока в цепи и, если необходимо, установить их с помощью корректора.
3. Включить стабилизированный источник питания  $A$ , подать напряжение с помощью автоматического выключателя  $QF$  и с помощью ЛАТРа установить номинальный ток поверяемого амперметра, при котором прогреть прибор в течение 15 мин.

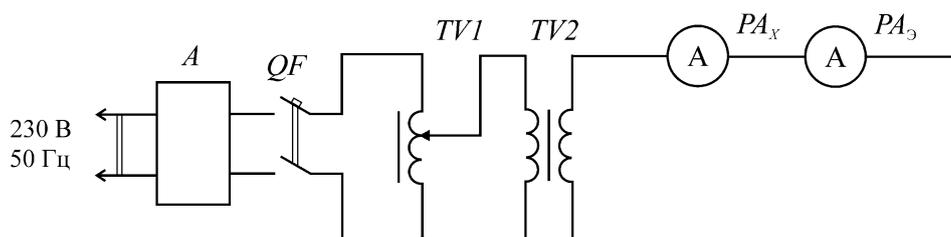


Рис. 1.1. Схема лабораторной установки для поверки амперметра:

$A$  – стабилизированный источник питания;  $QF$  – автоматический выключатель;  $PA_x$  – поверяемый амперметр;  $PA_y$  – эталонный амперметр;  $TV1$  – ЛАТР;  $TV2$  – понижающий трансформатор

4. Произвести поверку амперметра в два хода: сначала при увеличении его показаний до верхнего предела диапазона измерений, затем – при уменьшении их до нуля. Поверке подлежат все числовые отметки шкалы поверяемого амперметра. Значение тока устанавливать по поверяемому амперметру.

5. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений и вычислений

Измерено			Вычислено						
$I$	$I_{дв}$	$I_{ду}$	$\Delta I_b$	$\Delta I_y$	$\delta_b$	$\delta_y$	$\gamma_b$	$\gamma_y$	$V$
А	А	А	А	А	%	%	%	%	%
0	0	0	0	0	–	–	0	0	0
0,2									
0,4									
0,6									
0,8									
1,0									

6. По результатам поверки дать заключение о годности поверяемого прибора.

### Поверка вольтметра электромагнитной системы

1. Собрать схему поверки (рис. 1.2).
2. Проверить установку указателей на нулевых делениях шкал при отсутствии напряжения.
3. Подать напряжение и с помощью ЛАТРа установить стрелку на верхнюю отметку шкалы поверяемого вольтметра, прогреть его в течение 15 мин.
4. Произвести поверку вольтметра в два хода во всех числовых отметках шкалы.
5. Результаты измерений и расчетов занести в табл. 1.2.

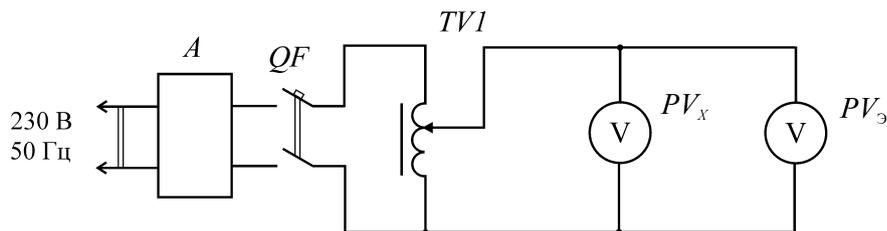


Рис. 1.2. Схема лабораторной установки для поверки вольтметра:  
 $PV_x$  – поверяемый вольтметр;  $PV_3$  – эталонный вольтметр

7. Дать заключение о годности поверяемого вольтметра.

Таблица 1.2

#### Результаты измерений и вычислений

Измерено					Вычислено				
$U$	$U_{дв}$	$U_{ду}$	$\Delta U_B$	$\Delta U_Y$	$\delta_B$	$\delta_Y$	$\gamma_B$	$\gamma_Y$	$V$
В	В	В	В	В	%	%	%	%	%
0	0	0	0	0	–	–	0	0	0
50									
100									
150									
200									
250									

#### Выводы:

#### Контрольные вопросы

1. Что понимается под абсолютной погрешностью?
2. Что называется относительной погрешностью?
3. Каковы причины основной и дополнительных погрешностей?
4. Что называется приведенной погрешностью и что она характеризует?
5. Что называется классом точности прибора?
7. Что такое вариация показаний прибора?
8. Что означает число, обозначающее класс точности измерительного прибора?
9. Что понимается под поверкой измерительного прибора и когда она производится?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### МОСТ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы:

1. Ознакомиться с принципами измерения сопротивлений методом сравнения.
2. Ознакомиться с принципиальным устройством мостов постоянного тока для измерения средних и малых сопротивлений.
3. Приобрести практически навыки в работе с мостом постоянного тока типа МО-61.

#### Общие сведения

Мосты постоянного тока по принципу своего действия относятся к приборам сравнения. В этих приборах измеряемая величина определяется в результате сравнения ее с мерой данной величины. При этом возможны два метода.

1. Эффект, производимый измеряемой величиной, полностью уравнивается эффектом, производимым мерой этой величины, а числовое значение измеряемой величины равно числовому значению меры. Такой режим работы моста называют равновесным, и именно он наиболее часто используется при измерении сопротивлений.

2. Эффект, производимый измеряемой величиной, не уравнивается эффектом ее меры, а о числовом значении измеряемой величины судят по измеряемой разности указанных эффектов. Этот режим работы моста называется неравновесным, и он получил преимущественное распространение при измерениях неэлектрических величин электрическими методами.

Мосты постоянного тока подразделяются на одинарные, используемые для измерения сопротивлений средней величины (в диапазоне от 1 до  $1 \cdot 10^6$  Ом), и двойные, которые применяются для измерения малых сопротивлений (от  $1 \cdot 10^{-6}$  до 1 Ом).

В настоящее время большое распространение получили комбинированные мосты постоянного тока, рассчитанные на работу по схеме одинарного и двойного моста. Такое объединение позволяет значительно расширить диапазон измерения и обеспечивает хорошую точность во всем диапазоне измерения. Используемый в настоящей работе мост постоянного тока типа МО-61 относится к одинарным мостам с двух- и четырехзажимным подключением измеряемого сопротивления с общим диапазоном измерения от  $10^{-4}$  до  $10^8$  Ом.

Принципиально схема одинарного моста представляет собой четырехполюсник, к двум зажимам которого подводится питание, а к двум другим подключен указатель равновесия. Элементы внутренней цепи такого четырехполюсника называют плечами моста, а цепи питания и указателя равновесия – диагоналями.

Измеряемое сопротивление является одним из плеч моста, а в остальные плечи включаются регулируемые сопротивления (многозначные меры сопротивления). Регулируя сопротивления одного

или двух плеч моста, можно уравновесить мост – добиться отсутствия тока в диагонали указателя равновесия (напряжения на измерительной диагонали). Измеряемое сопротивление при равновесии моста определяется по трем известным сопротивлениям остальных плеч. Четырехплечий мост, работающий по этому принципу, называют уравновешенным, и его принципиальная схема показана на рис. 5.1.

На схеме видно, что в первое плечо моста включается измеряемое сопротивление  $R_x$ , а в остальные плечи – известные регулируемые сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . В диагональ  $AC$  включен индикатор равновесия, в качестве которого используется высокочувствительный магнитоэлектрический гальванометр либо высокочувствительный вольтметр с большим входным сопротивлением, например цифровой. К другой диагонали  $BD$  подведено питание от источника  $E$ .

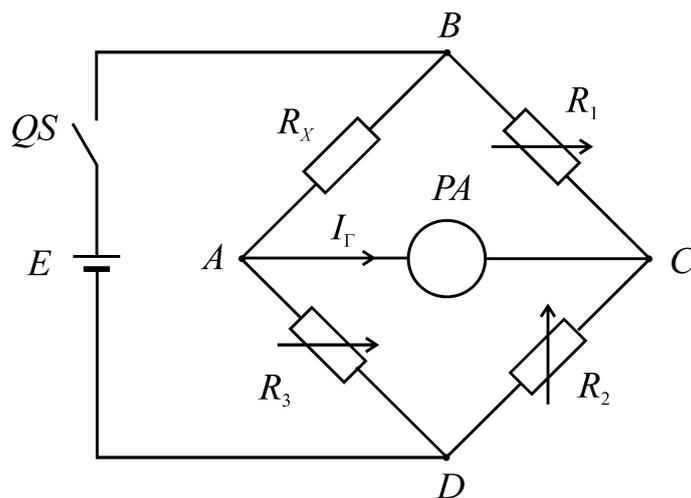


Рис. 5.1. Схема одинарного моста постоянного тока

Условие равновесия такого четырехплечего (одинарного) моста записывается в форме:

$$R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3, \quad (5.1)$$

т. е. определяется как *равенство произведений сопротивлений противоположащих плеч*. Отсюда искомое сопротивление может быть подсчитано по формуле:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2} = R_1 \frac{R_3}{R_2}. \quad (5.2)$$

Из формулы видно, что измерение сопротивления мостом сводится к регулированию одного (смежного с измеряемым) плеча  $R_1$ , называемого плечом сравнения, при неизменном отношении двух других плеч  $R_3/R_2$  или к регулированию отношений двух плеч  $R_3/R_2$  при постоянном значении плеча сравнения  $R_1$  до получения нулевого показания гальванометра  $PA$ . На практике применяют оба способа уравнивания мостов.

При измерении на четырехплечих одинарных мостах постоянного тока малых сопротивлений (менее 1 Ом) неизбежны значительные погрешности. Величина их зависит от соизмеримости сопротивлений соединительных проводов и контактов с измеряемым

сопротивлением. Чем ближе по значению величина измеряемого сопротивления с сопротивлениями соединительных проводов и контактов, тем больше погрешность измерения.

#### Технические данные моста МО-61

Мост типа МО-61 предназначен для измерения омических сопротивлений в пределах от  $10^{-4}$  до  $10^8$  Ом в лабораторных условиях, т. е. при температуре окружающего воздуха от  $+15$  °С до  $+30$  °С и относительной влажности воздуха до 80 %.

Измерение сопротивлений в диапазоне от  $10^{-4}$  до  $10^2$  Ом выполняется по четырехзажимной схеме подключения измеряемого сопротивления, а в диапазоне от  $10^2$  до  $10^8$  Ом – по двухзажимной схеме подключения измеряемого сопротивления  $R_x$ .

При нормальных условиях эксплуатации моста его основная погрешность, выраженная в процентах от нормального значения измеряемого сопротивления, не превышает значений:

$\pm 1$  % в пределе от  $10^{-4}$  до  $10^{-3}$  Ом;

$\pm 0,1$  % в пределе от  $10^{-3}$  до  $10^{-2}$  Ом;

$\pm 0,05$  % в пределе от  $10^{-2}$  до  $10^8$  Ом;

Мост питается от сети переменного тока напряжением 133/230 В  $\pm 10$  % через встроенный блок питания, обеспечивающий 3 В и 30 В стабилизированного напряжения и 90 В нестабилизированного. Кроме того, предусмотрена возможность подключения внешнего источника питания.

В качестве индикатора равновесия использовать цифровой вольтметр.

#### Работа моста при нулевом методе измерения

##### Измерение сопротивлений в диапазоне от $10^2$ до $10^8$ Ом

В этом диапазоне измерения производятся по схеме двухзажимного подключения измеряемого сопротивления (рис. 5.3). Сопротивления величиной от  $10^2$  до  $10^5$  Ом измеряются с использованием прямой схемы, когда  $R_x$  и плечо сравнения  $R_{cp}$  находятся в разных ветвях относительно источника питания моста (см. схему на рис. 5.3, а). При измерении больших сопротивлений (в диапазоне от  $10^5$  до  $10^8$  Ом) используется обратная схема, при которой  $R_x$  и  $R_{cp}$  находится в одной ветви относительно источника питания моста (см. схему на рис. 5.3, б). Переход от прямой схемы к обратной или к схеме с четырехзажимным подключением осуществляется при помощи расположенного на панели прибора кнопочного переключателя путем нажатия соответствующей кнопки  $M_{2пр}$ ,  $M_{2обр}$ ,  $M_4$ .

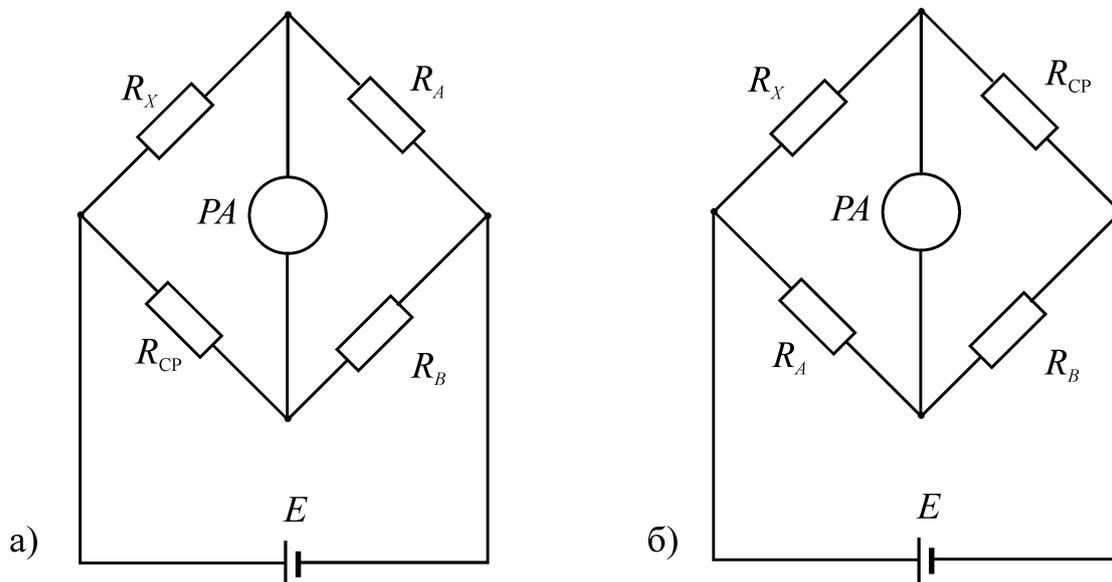


Рис. 5.3. Схема одинарного моста МО-61:  
 а) при измерении сопротивлений в диапазоне от  $10^2$  до  $10^5$  Ом;  
 б) при измерении сопротивлений в диапазоне от  $10^5$  до  $10^8$  Ом

Регулирование чувствительности моста производится посредством расположенного на панели переключателя «Чувствительность» с позициями от «Выкл.» до «7», позволяющего ступенчато изменять чувствительность моста от 0 до максимума.

При измерении малых сопротивлений используется четырехзажимная схема подключения измеряемого сопротивления.

#### Измерение сопротивлений в диапазоне $10^{-4}$ до $10^2$ Ом

При использовании такой схемы, приведенной на рис. 5.4, измеряемое сопротивление подключается к мосту посредством калиброванных проводов сопротивлением 0,01 Ом. Для устранения влияния сопротивления этих проводов на результат измерения собственные сопротивления плеча сравнения  $R_{CP}$  и одного плеча отношения  $R_A$  в этой схеме уменьшены на 0,01 Ом каждое.

Плечо сравнения представляет собой шестидекадный рычажный магазин сопротивления с декадами ( $\times 1000$ ,  $\times 100$ ,  $\times 10$ ,  $\times 1$ ,  $\times 0,1$  и  $\times 0,01$ ) Ом.

Плечи отношения моста выполнены в виде двух штепсельных магазинов сопротивления, каждый из которых состоит из ряда сопротивлений, позволяющих путем установки штепселей в соответствующие гнезда получать отношения  $R_A/R_B = 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100; 1000; 10000$ . На схеме рисунка 5.4 видно, как часть сопротивлений плеча сравнения и плеча отношения, равная 0,01 Ом, заменяется при четырехзажимной схеме сопротивлениями калиброванных соединительных проводов, также равных 0,01 Ом.



4. Включить питание моста тумблером «Сеть», при этом должна загореться сигнальная лампочка.

5. Переключатель «Чувствительность» последовательно переводить в позиции «1», «2» и т. д., пока значение напряжения на измерительной диагонали, измеряемое цифровым вольтметром, не отклонится заметно от нулевого значения; если это не происходит, необходимо штепсель «А» переставлять в гнезда «100», «10», а штепсель «В» – в гнезда «10000», «100000» или наоборот.

6. Добившись значения напряжения на измерительной диагонали отличное от нуля, уравнивать мост, начиная с верхней декады плеча сравнения и постепенно переходя на низшие декады. При изменении полярности напряжения следует вернуть высшую декаду в исходное положение и перейти на низшую декаду и т. д.

7. Рассчитать ориентировочное значение  $R_x = R_{\text{ср}} \frac{R_A}{R_B}$ , где  $R_{\text{ср}}$  – отсчет по плечу сравнения,  $R_A$  и  $R_B$  – отсчеты по штепсельным магазинам плеч отношения.

Если ориентировочная величина  $R_x$  лежит в диапазоне  $10^{-4}$ – $10^2$  Ом, следует для точного измерения использовать четырехзажимную схему, показанную на рис. 5.4. Если  $R_x$  имеет порядок  $10^2$ – $10^8$  Ом, необходимо применить одну из двухзажимных схем (прямую или обратную), показанных на рис. 5.3, а и 5.3, б.

Диапазон измерения от  $10^{-4}$  до  $10^2$  Ом

1. Подключить измеряемое сопротивление посредством калиброванных проводов к зажимам моста «Т<sub>1</sub>», «П<sub>1</sub>», «П<sub>2</sub>», «Т<sub>2</sub>».

2. Поставить штепсели плеч отношения «А» и «В», и кнопочный переключатель в позиции, указанные в табл. 5.2 (или внутри крышки прибора) для данного предела и метода измерения.

3. Включить тумблер «Сеть» и, постепенно повышая чувствительность моста переключением позиций переключателя «Чувствительность» до максимальной, уравновесить мост, добившись нулевого значения напряжения на измерительной диагонали (нулевого показания цифрового вольтметра).

4. Пользуясь приведенной формулой, определить точное значение  $R_x$ , и занести его в табл. 5.1.

5. Подготовить мост для следующего измерения, для чего установить переключатель «Чувствительность» в позицию «Выкл.», все декады плеча сравнения – в нулевые положения и тумблер «Сеть» – в позицию «Выкл.».

Таблица измерений и вычислений

Пределы измерения	Значение сопротивления плеч			Расчетные значения $R_X$ , Ом
	$R_{CP}$ , Ом	$R_A$ , Ом	$R_B$ , Ом	

$$R_X = R_{cp} \frac{R_A}{R_B}. \quad (5.6)$$

Диапазон измерения от  $10^2$  до  $10^5$  Ом

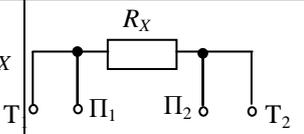
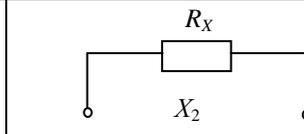
1. Подключить измеряемое сопротивление к зажимам «X<sub>2</sub>».
2. Кнопочный переключатель установить в позицию, соответствующую нажатию кнопки «M<sub>2пр</sub>», что приведет к коммутированию схемы рис. 5.3, а.
3. Дальнейший ход измерения такой же, как при измерениях в диапазоне от  $10^{-4}$  до  $10^2$  (см. пункты 2–5 предыдущего раздела).

Диапазон измерения от  $10^5$  до  $10^8$  Ом

1. Подключить измеряемое сопротивление к зажимам «X<sub>2</sub>».
2. Кнопочный переключатель установить в позицию, соответствующую нажатию кнопки «M<sub>2обр</sub>», что приведет к коммутированию схемы рис. 5.3, б.
3. Дальнейший ход измерения такой же, как в предыдущих разделах.

**Предупреждение!** При точных измерениях необходимо учесть влияние контактных и термоэлектродвижущих сил на результат измерения. Для этого следует при всех измерениях, уравновесив мост, проверить, сохраняется ли нулевое положение гальванометра при отключении источника питания. Если да, то можно считать, что эти ЭДС практически не влияют на результат измерения. Если же будет иметь место заметное отклонение, то мост следует уравнивать к полученному отклонению, которое именуется «ложным нулем».

Положения штепселей плеч сравнения, кнопочного переключателя, напряжения питания моста и схем подключения  $R_x$  в зависимости от его пределов

Пределы измерения, Ом	$10^{-4}$ $10^{-1}$	$10^{-1}$ 1	1 10	10 $10^2$	$10^2$ $10^3$	$10^3$ $10^4$	$10^4$ $10^5$	$10^5$ $10^6$	$10^6$ $10^7$	$10^7$ $10^8$
Схема подключения $R_x$ к зажимам моста										
Штепсель плеча «А»	10	10	10	$10^2$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^5$	$10^5$
Штепсель плеча «В»	$10^5$	$10^4$	$10^3$	$10^3$	$10^2$	$10^3$	$10^3$	$10^3$	$10^2$	10
Кнопочный переключатель	$M_4$				$M_{2пр}$			$M_{2обр}$		
Напряжение питания	3 В				30 В			90 В		

### Выводы:

### Контрольные вопросы

1. Каковы пределы измерения одинарных мостов постоянного тока?
2. Каковы пределы измерения двойных мостов постоянного тока?
3. Как устраняется влияние сопротивления соединительных проводов при использовании четырехзажимной схемы подключения  $R_x$ ?
4. Как учитывается наличие и устраняется влияние контактных и термоэлектрических ЭДС на результат измерения малых сопротивлений?
5. Какой режим работы моста называется равновесным или нулевым?
6. Как определяется момент равновесия моста, по какому прибору?
7. В чем принципиально состоит метод сравнения?
8. Изобразите принципиальную схему одинарного моста постоянного тока. Запишите условие его равновесия.
10. Велика ли точность измерения сопротивлений мостовыми схемами и как изменяется погрешность измерения с увеличением  $R_x$ ?

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы:

1. Изучить устройство и принцип действия термопреобразователей сопротивления и термоэлектрических преобразователей.
2. Изучить устройство и принцип действия измерителя-регулятора МТ2.
3. Произвести поверку измерителя-регулятора МТ2.

### Общие сведения

**Измерительные преобразователи.** При измерении температуры в качестве измерительных преобразователей наиболее часто используются *термопреобразователи сопротивления* (термометры сопротивления) и *термоэлектрические преобразователи* (термопары).

**Принцип действия термопреобразователей сопротивления** (ТС) основан на свойстве металлов изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Основной частью термопреобразователя сопротивления является *чувствительный элемент* (ЧЭ). Чувствительный элемент представляет собой резистор, выполненный из металлической проволоки или пленки с выводами для крепления соединительных проводов, имеющий известную зависимость электрического сопротивления от температуры.

Каркас с чувствительным элементом помещается в корпус защитной арматуры. Общий вид термопреобразователя представлен на рис. 13.1.



Рис. 13.1. Общий вид термопреобразователя сопротивления

Наибольшее распространение получили термопреобразователи с *платиновыми* и *медными* чувствительными элементами.

Основными характеристиками термопреобразователя сопротивления являются (ГОСТ 6651–2009):

1) номинальное сопротивление  $R_0$  – нормированное изготовителем сопротивление ТС при  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , округленное до целых единиц, указанное в его маркировке и рекомендуемое для выбора из ряда: 10, 50, 100, 500, 1000 Ом;

2) температурный коэффициент  $\alpha$ , определяемый по формуле  $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100\text{ }^\circ\text{C}}$ , где  $R_{100}$  и

$R_0$  – значения сопротивления ТС при  $100\text{ }^\circ\text{C}$  и  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ;

3) номинальная статическая характеристика (НСХ) – зависимость сопротивления ТС от температуры с конкретным значением  $R_0$ , которая рассчитывается по формулам, приведенным в ГОСТ 6651–2009 или же представленная в виде таблицы.

Условное обозначение НСХ состоит из значения номинального сопротивления  $R_0$  и обозначения типа: М – медный с  $\alpha = 0,00428\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , П – платиновый с  $\alpha = 0,00391\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  и Pt – платиновый с  $\alpha = 0,00385\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Русское обозначение типа приводят за значением номинального сопротивления, латинское обозначение – перед значением номинального сопротивления. Например: 100П означает НСХ для платинового ТС с  $\alpha = 0,00391\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  и  $R_0 = 100\text{ Ом}$ ; Pt100 означает НСХ для платинового ТС с  $\alpha = 0,00385\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  и  $R_0 = 100\text{ Ом}$ .

Медные термопреобразователи сопротивления можно применять для измерения температуры в диапазоне от  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , платиновые – от  $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Принцип действия термоэлектрических преобразователей** основан на *термоэлектрическом эффекте* (эффекте Зеебека), сущность которого заключается в том, что при соединении двух разнородных проводников в месте их соединения возникает ЭДС (термоЭДС), зависящая от рода материала проводников и температуры места соединения. Проводники, образующие термопару, называются *термоэлектродами*. Место соединения термоэлектродов называется *рабочим* или *горячим* спаем. Противоположные концы называются *холодными* или *свободными* (рис. 13.2).

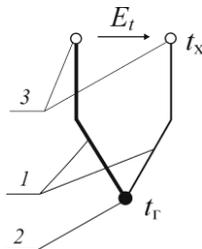


Рис. 13.2. Термоэлектрический преобразователь (термопара):  
1 – термоэлектроды; 2 – горячий (рабочий) спай; 3 – холодные (свободные) концы

ТермоЭДС, развиваемая термопарой, пропорциональна разности температур горячего спаи и холодных концов и для небольшого диапазона температур может быть выражена линейной зависимостью:

$$E_t = \alpha(t_r - t_x), \quad (13.1)$$

где  $t_r$  – температура горячего спаи;  $t_x$  – температура свободных концов;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от материала термоэлектродов и диапазона температур.

В общем случае НСХ термопар для всего диапазона измерений являются нелинейными и при их использовании для измерения температуры необходимо предусматривать меры по линеаризации.

В качестве термоэлектродов могут использоваться различные металлы и их сплавы. В табл. 13.1 приведены наиболее широко используемые термопары и их основные характеристики (СТБ ГОСТ Р 8.585–2004).

Таблица 13.1

Характеристики термоэлектрических преобразователей

Материал термоэлектродов	Обозначение типа (НСХ)	Диапазон измерений, $^{\circ}\text{C}$
Хромель-копель	L	от $-20$ до $+600$
Железо-константан	J	от $-200$ до $+800$
Хромель-алюмель	K	от $-20$ до $+1100$
Платинородий (10 %)-платина	S	от $0$ до $+1300$

**Приборы для измерения температуры.** Для измерения температуры совместно с *термопреобразователями сопротивления* используются *магнитоэлектрические логометры, автоматические мосты и цифровые измерительные приборы*.

Для измерения температуры совместно с *термоэлектрическими преобразователями* используются *магнитоэлектрические милливольтметры, автоматические компенсаторы (потенциометры) и цифровые измерительные приборы*.

В настоящее время в мире выпускается широкая номенклатура цифровых приборов для измерения и регулирования температуры.

Одним из таких приборов является измеритель-регулятор МТ2, представляющий собой программируемое микропроцессорное устройство.

В самом общем виде структурная схема прибора представлена на рис. 13.3.

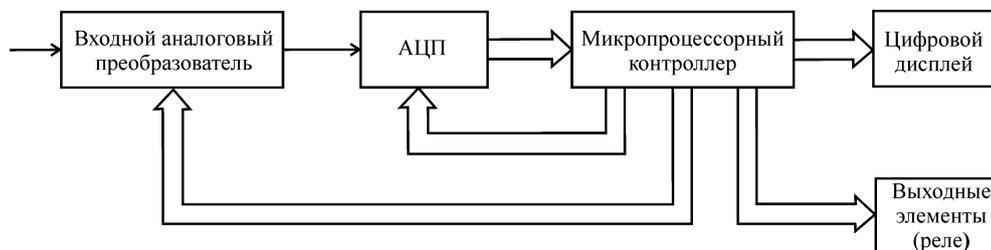


Рис. 13.3. Структурная схема измерителя-регулятора МТ2

*Входной аналоговый преобразователь* преобразует сопротивление термопреобразователя или термоЭДС термоэлектрического преобразователя в напряжение постоянного тока.

Напряжение поступает на вход *аналого-цифрового преобразователя (АЦП)*, где оно преобразуется в *цифровой код*, который далее обрабатывается *микропроцессорным контроллером*.

Микропроцессорный контроллер, оперируя цифровым кодом, производит линейризацию номинальной статической характеристики измерительного преобразователя. Также им производится компенсация сопротивления соединительных проводов при трехпроводном подключении термопреобразователя сопротивления или введение поправки на температуру свободных концов термоэлектрического преобразователя (для измерения температуры свободных концов термопары служит пленочный чувствительный элемент с НСХ Pt100, расположенный рядом с клеммами для подключения).

Далее контроллер производит дешифрацию цифрового кода и выдает сигнал на цифровой дисплей, представляющий собой три или четыре (в зависимости от модификации прибора) семисегментных светодиодных индикатора и отображающий измеренное значение в цифровом виде.

Кроме этого микроконтроллер управляет выходными коммутационными элементами (электромеханическими или полупроводниковыми реле) в соответствии с заложенным в программу алгоритмом регулирования, что позволяет не только измерять температуру, но и использовать прибор в системах автоматического регулирования.

**Проверка измерителя-регулятора МТ2.** При проведении проверки основной операцией является определение основной приведенной погрешности.

Определение погрешности измерения осуществляется после установления рабочего режима прибора не менее чем в пяти точках  $N_i$  диапазона измерений прибора, интервал между которыми не должен превышать 30 % диапазона, включая нижний и верхний пределы диапазона. Отсчет показаний прибора производится по истечении 3 с после подачи входного сигнала.

Для определения основной приведенной погрешности прибора *работающего с термопреобразователем сопротивления* используется магазин сопротивлений класса точности не ниже 0,05 и градуировочная таблица (номинальная статическая характеристика) термопреобразователя сопротивления (ГОСТ 6651–2009).

На вход прибора вместо термопреобразователя сопротивления подключается магазин сопротивлений. Плавным изменением сопротивления магазина сопротивлений добиваются состояния, при котором на индикаторе прибора устойчиво индицируется требуемое значение температуры, соответствующее проверяемой точке  $N_i$  диапазона, и считывают значение сопротивления, полученное на магазине сопротивлений. Аналогично снимают показания в других точках диапазона измерений.

Основную приведенную погрешность измерения в каждой точке определяют по формуле:

$$\gamma = \frac{R - R_{Гр}}{R_k - R_n} \cdot 100, \quad (13.2)$$

где  $R_{Гр}$  – сопротивление, соответствующее проверяемой точке диапазона по градуировочной таблице ГОСТ 6651–2009;  $R$  – значение сопротивления по эталонному магазину сопротивлений, соответствующее проверяемой точке диапазона;  $R_k$  и  $R_n$  – значения сопротивлений, соответствующие конечной и начальной точкам диапазона измерений по градуировочной таблице.

Погрешность, рассчитанная по формуле (13.2), должны быть не более  $\pm 0,5\%$  (предела допускаемой основной приведенной погрешности, который указывается на этикетке и в паспорте прибора).

### Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия термопреобразователей сопротивления, термоэлектрических преобразователей, измерителя-регулятора МТ2.

2. Произвести поверку измерителя-регулятора МТ2, работающего совместно с термопреобразователем сопротивления с НСХ 50М, руководствуясь приведенными выше рекомендациями.

Магазин сопротивлений подключается к прибору в соответствии со схемой, показанной на рис. 13.4.

Градуировочная таблица термопреобразователя сопротивления с НСХ 50М, приведена в табл. 13.2.

Результаты измерений занесите в табл. 13.3.

3. По результатам поверки сделайте вывод о пригодности измерителя-регулятора МТ2.

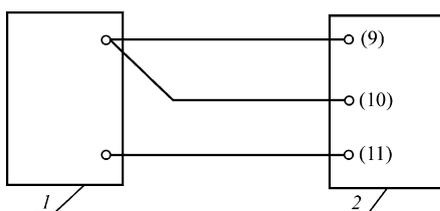


Рис. 13.4. Схема подключения магазина сопротивлений к измерителю-регулятору МТ2:  
1 – магазин сопротивлений; 2 – измеритель-регулятор МТ2

Таблица 13.2

### Номинальная статическая характеристика термопреобразователя сопротивления 50М

Температура, °С	Сопротивление, Ом
-50	39,23
0	50,00
50	60,70
100	71,39
150	82,08
200	92,78

Таблица 13.3

### Основная приведенная погрешность измерителя-регулятора МТ2

Измерено			Вычислено
$t, ^\circ\text{C}$	$R_{гр}, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$	$\gamma, \%$
-50			
0			
50			
100			
150			
200			

## **Выводы:**

### **Контрольные вопросы**

1. На чем основан принцип действия термопреобразователей сопротивления?
2. Какие материалы используются в чувствительных элементах термопреобразователей сопротивления?
3. Что означает  $R_0$  для термопреобразователей сопротивления?
4. Что означает коэффициент  $\alpha$  для термопреобразователей сопротивления?
5. Как обозначаются НСХ термопреобразователей сопротивления?
6. На чем основан принцип действия термоэлектрических преобразователей?
7. Какие термоэлектрические преобразователи наиболее широко используются в настоящее время, как они обозначаются?
8. Объяснить устройство и принцип работы измерителя-регулятора МТ2.

**Вопросы к экзамену в 2024 г.**  
по дисциплине «Метрология и электроизмерительная техника»

Для специальностей 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), направления специальности 1-74 06 05-01 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика); 1-74 06 05-01-02 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (теплоэнергетика); для специальности 1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям), направление специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство)

1. Основные метрологические понятия и определения. Международная система единиц (СИ).
2. Классификация средств измерений (меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, компараторы, измерительные установки, измерительные системы). Эталоны единиц величин.
3. Меры электрических величин: ЭДС, сопротивления, индуктивности, взаимной индуктивности, емкости.
4. Виды измерений (прямые, косвенные, совокупные и совместные).
5. Методы измерений. Метод непосредственной оценки. Методы сравнения мерой (нулевой, дифференциальный, замещения).
6. **Классификация погрешностей измерений и средств измерений (по способу выражения, по характеру проявления, по причине возникновения, по условиям в которых определяется, по режиму измерений).**
7. Законы распределения и характеристики случайных погрешностей. Доверительная вероятность и доверительный интервал.
8. Обработка результатов прямых измерений с многократными равноточными наблюдениями.
9. Обработка результатов косвенных измерений.
10. **Основные характеристики средств измерений. Основные метрологические характеристики (функция преобразования, чувствительность, цена деления, диапазон показаний, диапазон измерений, вариация показаний).**
11. **Нормирование метрологических характеристик средств измерений. Классы точности средств измерений.**
12. Государственная система обеспечения единства измерений: нормативно-правовые основы; основные принципы; сфера законодательной метрологии.
13. Метрологическая служба Республики Беларусь.
14. Государственный метрологический надзор.
15. Метрологическая оценка: утверждение типа средств измерений; поверка средств измерений; калибровка средств измерений.
16. Технические нормативно правовые акты (ТНПА) в области технического нормирования и стандартизации: технические регламенты (ТР); технические кодексы установившейся практики (ТКП); стандарты; технические условия (ТУ).
17. Национальная система подтверждения соответствия Республики Беларусь. Цели, принципы, виды и объекты оценки соответствия.
18. Формы подтверждения соответствия требованиям ТНПА в области технического нормирования и стандартизации.
19. Общие сведения по устройству и принципу действия электромеханических приборов.
20. Моменты, действующие на подвижную часть электромеханических приборов.
21. Магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, ферродинамические, электростатические и индукционные измерительные механизмы и приборы (устройство, принцип действия, основные достоинства и недостатки).
22. Мосты постоянного тока.
23. Мосты переменного тока.
24. Компенсаторы постоянного тока.

25. Электронные аналоговые и регистрирующие приборы (электронные вольтметры, электронные омметры, электронно-лучевые осциллографы).
26. Общие сведения по устройству и принципу действия цифровых измерительных приборов (ЦИП).
27. Методы кодирования в ЦИП.
28. Цифровой частотомер и периодомер.
29. Цифровой вольтметр с время-импульсным преобразованием.
30. Устройства для расширения диапазонов измерения (масштабные измерительные преобразователи: шунты и добавочные сопротивления, делители напряжения, измерительные трансформаторы тока и напряжения).
31. Измерительные информационные системы (ИИС).  
Принципы построения ИИС. Основные структуры ИИС. Организация интерфейса.
32. Измерение тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока промышленной и повышенной частоты.
33. Методы и средства измерения активной мощности в однофазных и трехфазных цепях. Учет активной энергии.
34. Методы и средства измерения реактивной мощности в трехфазных цепях. Учет реактивной энергии.
35. Методы и средства измерения сопротивления.
36. Методы и средства измерения параметров конденсаторов ( $C$  и  $\text{tg}\delta$ ).
37. Методы и средства измерения параметров катушек индуктивности ( $L$  и  $Q$ ) и магнитосвязанных катушек ( $M$ ).
38. Методы и средства измерения частоты.
39. Общие вопросы измерения неэлектрических величин электрическими средствами.  
Структурная схема измерительной цепи.
40. Измерительные преобразователи неэлектрических величин: генераторные (индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические) и параметрические (индуктивные, тензочувствительные, термочувствительные, емкостные).
41. Измерительные преобразователи и приборы для измерения температуры.
42. Методы и средства измерений уровня жидкостей.
43. Методы и средства измерений давления жидкостей и газов.
44. Методы и средства измерения расхода жидкостей и газов.

Утверждены на заседании кафедры электротехники 01.09.2023, протокол №1

Зав. кафедрой

А.И.Зеленькевич

**!!! Вопросы, выделенные жирным шрифтом, относятся к разряду «это должен знать каждый всегда» и будут задаваться при собеседовании.**