**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики, электротехники и автоматики

Лабораторные работы 4–5

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ (ЭЛЕКТРОННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МОСТЫ, ПОТЕНЦИОМЕТРЫ И ЛОГОМЕТРЫ)

Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки:
270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные
системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность»

Казань
2015

УДК 621.317
ББК 32.965
С 21
С21 Лабораторные работы 4–5. Измерительные схемы (электронные автоматические мосты, потенциометры и логометры): Методические указания к лабораторным работам для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки: 270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность» / Сост.: Р.К. Сафиуллин, Р.Г. Яхин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2015. – 19 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях описаны схемы электронных автоматических мостов, потенциометров и логометров.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки: 270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность».

Табл. 4, ил. 8; библиог. 8 наимен.

Рецензент
Доктор физико-математических наук, профессор,
зав. кафедрой общей физики КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева
Б.А. Тимеркаев

УДК 621.317
ББК 32.965

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2015

© Сафиуллин Р.К., Яхин Р.Г., 2015

Лабораторная работа № 4

ЭЛЕКТРОННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МОСТЫ И ЛОГОМЕТРЫ

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение принципа действия и конструкции электронного автоматического моста и логометра.
2. Изучение методики поверки электронного автоматического моста.

II. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Автоматические электронные мосты и логометры предназначены для измерения и записи температуры или других неэлектрических величин, изменения которых могут быть преобразованы в изменение электрического сопротивления датчика. Часто автоматические мосты и логометры работают в комплекте с термометрами сопротивления (ТС). Встроенные в автоматические мосты регулирующие и сигнализирующие устройства позволяют широко использовать эти приборы также для целей автоматического регулирования и сигнализации.

1. Принцип действия и конструкция термометра сопротивления

Термометры сопротивления (ТС) бывают металлическими и полупроводниковыми. Металлические ТС получили широкое распространение в качестве датчиков при измерении температуры в диапазоне от - 200 до + 1100° С. Принцип действия их основан на свойстве проводников изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Температурная зависимость сопротивления проводника обусловлена, главным образом, зависимостью интенсивности колебательных движений ионов в узлах кристаллической решетки проводника от температуры. Наиболее часто в качестве чувствительных элементов (ЧЭ) ТС используется медная или платиновая проволока. Конструктивно ЧЭ представляет собой слюдяную пластинку с бифилярно намотанной на нее медной или платиновой проволокой. ЧЭ размещается в штуцере, в верхней части которого имеются контакты (изолированные от штуцера), к которым подключаются концы намотанной проволоки. К этим контактам подводятся провода, соединяющие ТС с вторичным прибором, например, с автоматическим мостом или логометром.

Зависимость электрического сопротивления медных ТС (ТСМ) от температуры дается формулой:

$$R_t = R_0(1+\alpha t), \qquad (1)$$

где α = 4,26·10^{-3} К$^{-1}$; t – в °С; R_t и R_0 – в Ом.

Для платиновых ТС (ТСП) справедлива зависимость:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2, \qquad (2)$$

где α = 3,94·10^{-3} К$^{-1}$; β = –5,85·10^{-7} К$^{-2}$.

Диапазоны измерения для ТСМ и ТСП приведены в табл. 1. Достоинствами металлических ТС являются высокая точность изготовления, хорошая взаимозаменяемость. Недостатками являются значительные размеры и инерционность, измеряемая в минутах.

Таблица 1

Тип ТС	Обозначение градуировки	Сопротивление при 0 °С, Ом	Диапазон температур, °С	
			от	до
ТСП	Гр. 20	10	-200	650
ТСП	Гр. 21	46	-200	650
ТСП	Гр. 22	100	-200	650
ТСМ	Гр. 23	53	-50	180
ТСМ	Гр. 24	100	-50	180

В современной технике часто используют также полупроводниковые ТС (термисторы). Их чувствительные элементы изготавливаются из смеси окислов различных металлов. При нагревании на 100 К сопротивление термисторов уменьшается в несколько раз. Температурный диапазон термисторов заключается между -100°С и +300°С. Достоинствами термисторов являются малые размеры и инерционность ~ 10^{-1} с, а недостатками – разброс характеристик и небольшой диапазон измерений.

2. Мостовая измерительная схема

Мостовая измерительная схема предназначена для преобразования изменения электрического сопротивления одного из элементов схемы в электрическое напряжение, снимаемое с измерительной диагонали моста. Наибольшее распространение получил четырехплечный мост Уитстона (рис. 1). Мост состоит из четырех плеч, в которые включены резисторы R_1, R_2, R_3. R_4, и двух диагоналей – измерительной – *cd* с гальванометром Г и питания – *ab* с источником питания, развивающим ЭДС *E*. В общем случае в ветви гальванометра проходит ток, направление которого определяется соотношением потенциалов узлов *c* и *d*. Изменяя сопротивления резисторов плеч можно получить состояние, при котором наступает равенство потенциалов узлов *c* и *d*, о чем свидетельствует нулевое показание гальванометра ($I_Г$ = 0). Такое состояние моста называется уравновешенным. Очевидно, что при этом для падений напряжения на плечах моста выполняются соотношения $U_{ac} = U_{ad}$ и $U_{ch} = U_{db}$. Кроме того, $I_1 = I_2$ и $I_3 = I_4$. Выразив падения напряжения через токи и сопротивления плеч, получим:

$$I_1 R_1 = I_4 R_4, I_2 R_2 = I_3 R_3. \qquad (3)$$

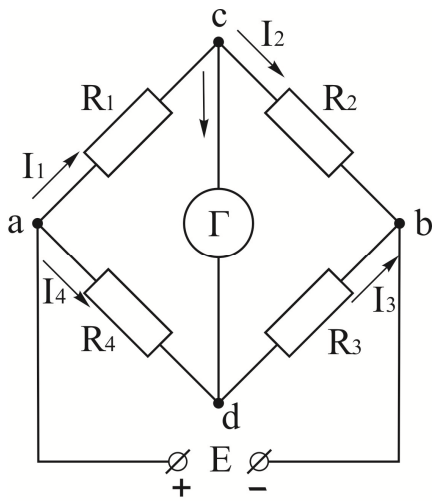

Рис. 1

Деля почленно первое уравнение на второе, и производя сокращения, получаем:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4. \qquad (4)$$

Выражение (4) называется условием равновесия моста: выходное напряжение моста U_{cd} равно нулю, если произведения сопротивлений противоположных плеч равны между собой. При нарушении условия (4) в измерительной диагонали появляется напряжение, величина и знак которого зависят от величины и характера отклонения от равновесия.

Мосты, питающиеся от источника переменного тока, получили название мостов переменного тока. Элементами плеч моста в этом случае могут быть как резисторы, так и индуктивности и емкости различных устройств. Условие равновесия заключается в равенстве произведений комплексных сопротивлений противоположных плеч:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4. \qquad (5)$$

При записи уравнения (5) в показательной форме оно распадается на два уравнения:

$$|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|, \ \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4, \qquad (6)$$

где $|Z|$ – модуль комплексного электрического сопротивления; φ – его фаза. Последнее уравнение позволяет правильно подобрать характер элементов в плечах моста.

3. Автоматические электронные мосты

Принцип действия электронного автоматического моста (рис. 2) основан на автоматическом уравновешивании мостовой схемы. Для этого измерительная схема дополняется переменным сопротивлением (реохордом) R_p, включенным в смежные плечи моста.

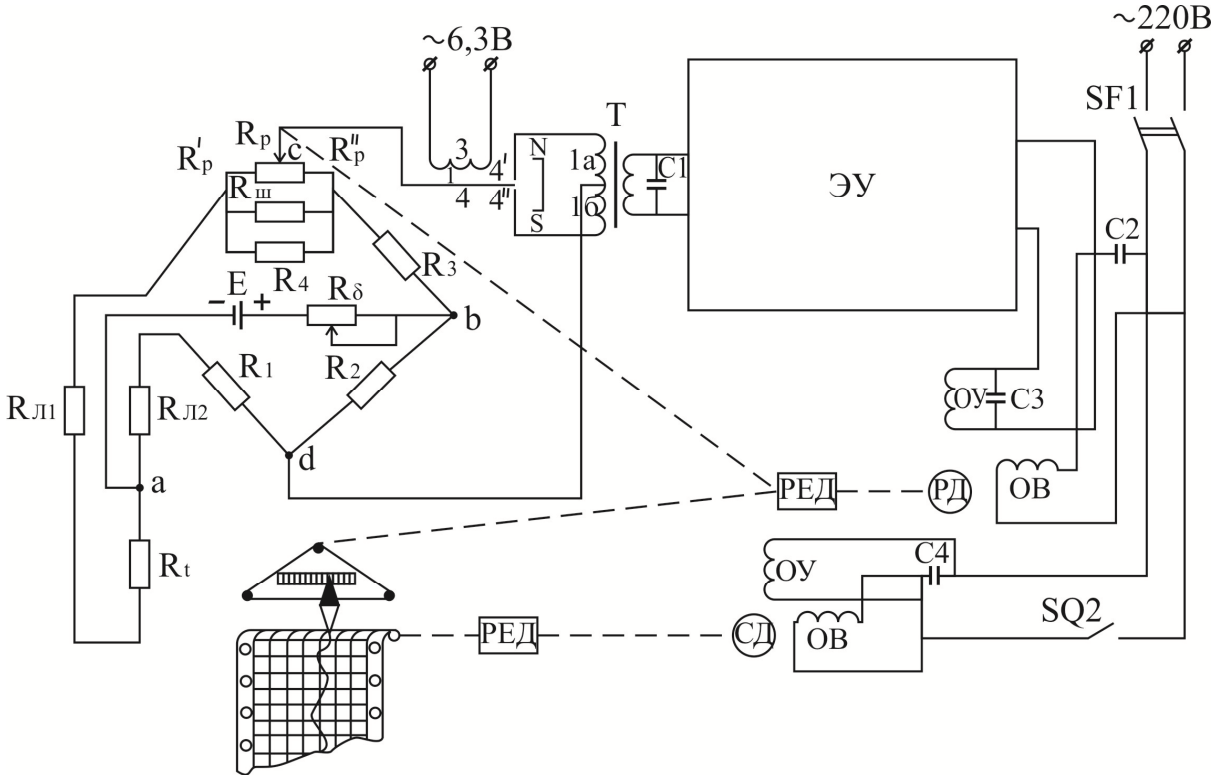

Рис. 2

Диагональ питания моста *ab* содержит источник постоянного напряжения с ЭДС *E* и балластное сопротивление $R_б$, предназначенное для ограничения тока источника. Сопротивления R_1, R_2, R_3, $R_р$, $R_ш$, $R_{л1}$, $R_{л2}$, выполнены из проволоки, сопротивление которой практически не зависит от температуры. Эти сопротивления вместе с термометром сопротивления R_t образуют плечи моста.

С изменением температуры *t* изменяется сопротивление датчика R_t. Нарушается равновесие мостовой схемы. При увеличении температуры потенциал точки *c* становится выше потенциала точки *d*. Напряжение, снимаемое с измерительной диагонали, подается на вход усилителя, состоящего из преобразователя постоянного тока в переменный, усилителя напряжения и усилителя мощности. Выходное напряжение последнего подается на обмотку управления (ОУ) реверсивного двигателя (РД), перемещающего подвижный контакт (токосъемник) *c* по реохорду $R_р$ влево (к точке *a*) до восстановления равновесия мостовой схемы.

При уменьшении температуры уменьшается сопротивление датчика R_t, полярность напряжения на измерительной диагонали изменяется (потенциал точки *c* становится ниже потенциала точки *d*). Направление вращения РД изменяется, и контакт *c* начинает перемещаться в обратную сторону (вправо по реохорду $R_р$) до восстановления равновесия мостовой измерительной схемы. При балансе моста напряжение на входе усилителя обращается в нуль и РД прекращает работу. С подвижным контактом *c*

через редуктор связаны стрелка, по которой производится отсчет показаний, и перо, записывающее показания прибора на диаграмме.

Равномерное перемещение диаграммы, на которой записываются изменения измеряемой величины (температуры), осуществляется синхронным двигателем СД. Цепочка преобразований при измерении температуры имеет вид:

$$t(°C) \to R_t \to (R_t + R_{л1} + R_p^{'}) \cdot R_2 \neq (R_3 + R_p^{''}) \to = \overline{U} \to \widetilde{U} \to k\widetilde{U} \to PD \to$$

показания и запись температуры.

Электронный усилитель (ЭУ)

Выходное напряжение с диагонали *cd* моста вначале преобразуется в переменное напряжение, а затем поступает на вход ЭУ, в котором усиливается по амплитуде и мощности. С выхода ЭУ сигнал поступает на обмотку управления (ОУ) реверсивного двигателя (РД) с редуктором, обеспечивающим измерение и запись контролируемого параметра. Двигатель РД-09 кроме ОУ имеет еще обмотку возбуждения (ОВ), которая питается от сети через выключатель SF_1 и фазосдвигающий конденсатор C_2.

Синхронный двигатель (СД) типа СД-54 предназначен для перемещения диаграммы прибора и переключателей (в многоточечных приборах). Он имеет две одинаковые обмотки ОУ и ОВ, которые питаются от сети. Для сдвига фаз применяется конденсатор C_4 в цепи ОУ.

4. Логометрическая измерительная схема

Логометры предназначены для преобразования изменения электрического сопротивления в угловое перемещение системы рамок прибора. Логометр содержит две жестко скрепленные между собой подвижные катушки или рамки r_1 и r_2 (рис. 3).

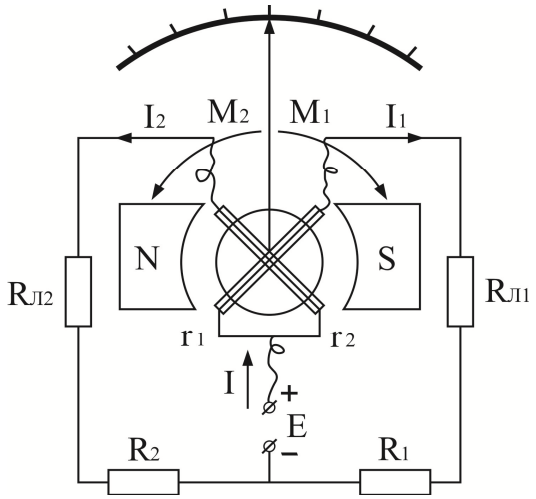

Рис. 3

Магнитное поле в воздушном зазоре прибора – неоднородное. На одну из рамок действует момент сил $M_1 = B_1(a)w_1S_1I_1$, способствующий ее повороту по часовой стрелке, а на другую рамку – момент сил $M_2 = B_2(a)w_2S_2I_2$, действующий против часовой стрелки. Здесь B – магнитная индукция, S – площадь витка рамки ($S_1 = S_2$), w – число витков рамки ($w_1 = w_2$). При установившемся отклонении стрелки прибора $M_1 = M_2$, $B_1(a)I_1 = B_2(a)I_2$ или $B_1(a)/B_2(a) = I_2/I_1$. Отсюда получается уравнение шкалы логометра $a = f(I_1/I_2)$. При постоянстве сопротивлений резисторов R_1, $R_{л1}$ и рамки r_1 ток I_1 – величина постоянная. Следовательно, $a = f(I_2)$. При постоянстве r_2 и $R_{л2}$ ток $I_2 = E/(r_2 + R_{л1} + R_2)$ является функцией R_2, поэтому угол поворота рамок $a = f(R_2)$.

Из рассмотрения принципов действия мостовой и логометрической измерительных схем следует, что с их помощью можно производить измерения сопротивлений R (и любых величин, влияющих на R) при условии, что величины сопротивлений других элементов схем известны и неизменны.

Достоинством логометров являются их простота и малые габариты. Недостатками являются невысокая точность измерения и отсутствие записывающих и регулирующих устройств.

Описание лабораторной установки

На лицевой панели установки размещены электронный мост КСМ4, магазин сопротивлений, переключатель П1, выключатель В1, лабораторный автотрансформатор ЛАТР-1 и логометр ЛОГ. На обратной стороне панели размещены два термометра сопротивления, электронагревательный элемент и источник питания логометра.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 4. Выключатель В1 служит для включения питания установки. Переключателем П1 на вход электронного моста может подключаться термометр сопротивления R_{t1} или магазин сопротивлений МС, служащий для поверки прибора.

Для плавного изменения температуры нагревательного элемента в установке предусмотрен прибор ЛАТР-1.

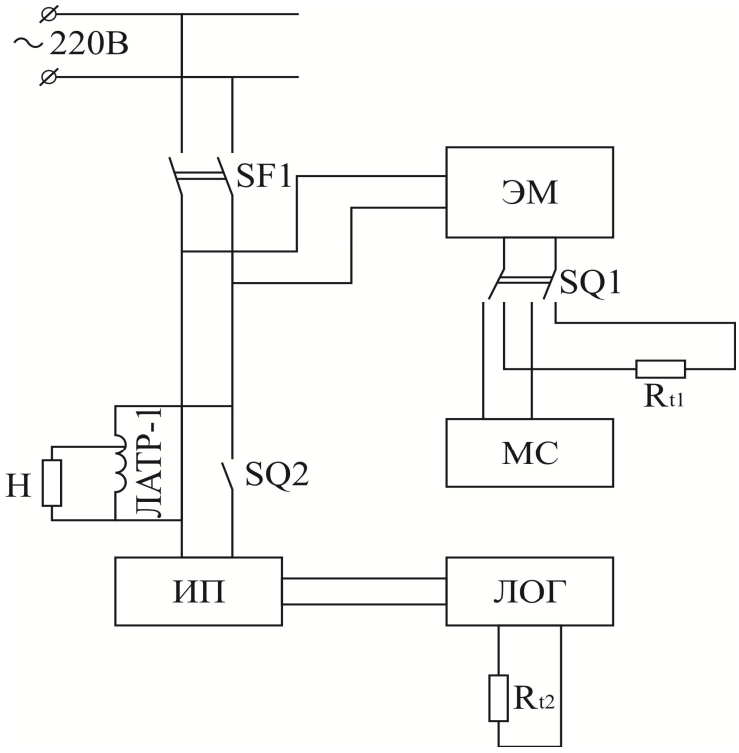

Рис. 4

Порядок выполнения работы

1. Произвести поверку правильности показаний автоматического моста. С этой целью выключателем В1 включить электронный мост. Подключить переключателем П1 к входу моста магазин сопротивлений МС. Изменяя ручками магазина его сопротивление, плавно подвести стрелку прибора точно к оцифрованной отметке шкалы, сначала при увеличении, а затем при уменьшении показаний. Поверку произвести на всех оцифрованных отметках шкалы. Результаты измерений свести в табл. 2.

2. По полученным результатам вычислить приведенную погрешность $\gamma_{пр}$ по каждой оцифрованной отметке шкалы:

$$\gamma_{пр} = \frac{(R_{табл} - R_{маг})}{R_к - R_н} \cdot 100\%,$$

где $R_{табл}$ – табличное значение сопротивления, соответствующее данной оцифрованной отметке, Ом; $R_{маг}$ – показания МС, Ом; $R_к, R_н$ – табличные значения сопротивления, соответствующие началу и концу шкалы, соответственно.

3. Измерить электронным автоматическим мостом температуру в лаборатории, для чего подключить к входу прибора переключателем П1 термометр сопротивления R_{t1}. Результаты измерений записать в отчет.

Таблица 2

Поверяемые отметки шкалы, °С	0	10	30	50	70	90	100
$R_{табл}$, Ом	46,00	47,82	51,45	55,06	58,65	62,21	63,99
$R_{маг}$, Ом							
$\Delta R = R_{маг} - R_{табл}$, Ом							
γ, **%**							

Указания по оформлению отчета

Отчет должен содержать следующие.

1.Упрощенную принципиальную электрическую схему автоматического моста и краткое описание его работы.

2. Результаты экспериментов и расчетов.

3. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия термометра сопротивления. Написать уравнение зависимости сопротивления медного и платинового ТС от температуры.

2. Пояснить принцип работы мостовой схемы. Написать условие равновесия моста Уитстона.

3. Объяснить работу логометра.

4. Объяснить принцип работы преобразовательного каскада.

5. Объяснить работу автоматического моста при перемене полярности батареи *E* и при смене термометра сопротивления.

Литература

1. Мейзда Ф.Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М.: Мир, 1990. – 536 с.

2. Котур В.И., Скомская М.А., Храмова Н.Н. Электрические измерения и электроизмерительные приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400 с.

3. Байда Л.И., Добротворский Н.С., Душин Е.М. и др. Электрические измерения / под ред. А.В. Фремке, Душина Е.М. – Л.: Энергия, 1980. – 392 с.

4. Сафиуллин Р.К. Основы автоматики и автоматизация процессов: учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2013. – 188 с.

Лабораторная работа № 5

ЭЛЕКТРОННЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИОМЕТР

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение принципа действия и конструкции электронного автоматического потенциометра.
2. Изучение методики поверки автоматического потенциометра.

II. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Автоматический электронный потенциометр предназначен для измерения и записи температуры или других величин, значения которых могут быть преобразованы в ЭДС или напряжение постоянного тока.

Встраиваемые в автоматические потенциометры регулирующие и сигнализирующие устройства позволяют использовать эти приборы не только при измерении и записи контролируемого параметра, но и для автоматического регулирования и сигнализации.

Наиболее часто автоматические потенциометры работают в комплекте с термоэлектрическими датчиками температуры (термопарами).

1. Принцип действия и конструкция термопары

При нагреве точки соединения двух разнородных материалов (термоэлектродов) между их свободными концами появляется электродвижущая сила (ЭДС). Зависимость ЭДС термопары от температуры точки соединения термоэлектродов (горячего спая термопары) при нулевой температуре свободных концов определяется градуировочной кривой термопары (рис. 1).

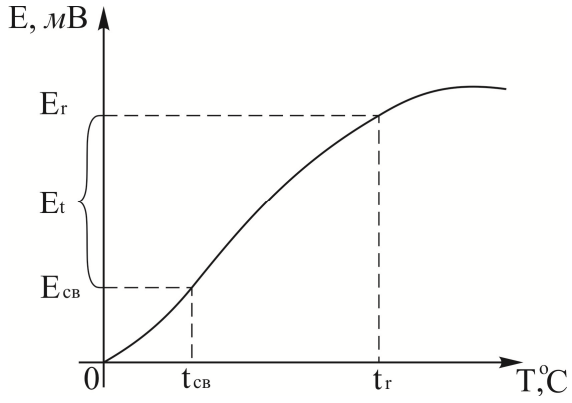

Рис. 1

При температуре свободных концов термопары, отличной от 0 °С, ЭДС термопары E_t определяется в соответствии с рис. 1 по формуле:

$$E_t = E_Г - E_{св}\,, \qquad (1)$$

где $E_Г = f(t_Г)$ – ЭДС горячего спая термопары; $E_{св} = f(t_{св})$ – ЭДС свободных концов (холодного спая) термопары.

В настоящее время наиболее широкое промышленное применение нашли термопары градуировок ПП-1, ПР-30/6, ХА и ХК.

Параметры этих термопар приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условное обозначение градуировки	Пределы измерения в ºС		
	при длительном измерении		при кратковременном измерении
	от	до	до
ПП-1 (платинородий – платина)	– 20	1300	1600
ПР-30/6 (платинородий 30 – платинородий 6)	300	1600	1800
ХА (хромель – алюмель)	– 50	1000	1300
ХК (хромель – копель)	– 50	600	800

Конструктивно термоэлектроды размещаются в защитной арматуре и изолируются от нее (обычно фарфоровыми бусами). Термопара имеет фланец для крепления на объекте и головку для подключения свободных концов термоэлектродов к измерительной схеме.

2. Компенсационный метод измерения

Для измерения напряжения с высокой точностью широкое распространение получил компенсационный метод. Суть этого метода заключается в следующем (рис. 2): при перемещении подвижного контакта b по реохорду потенциометра R_p изменяется напряжение U_n между точками b и a. Можно подобрать такое положение подвижного контакта b, чтобы ток через гальванометр Г был равен нулю.

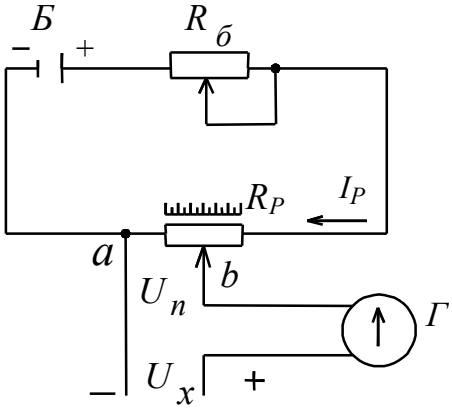

Рис. 2

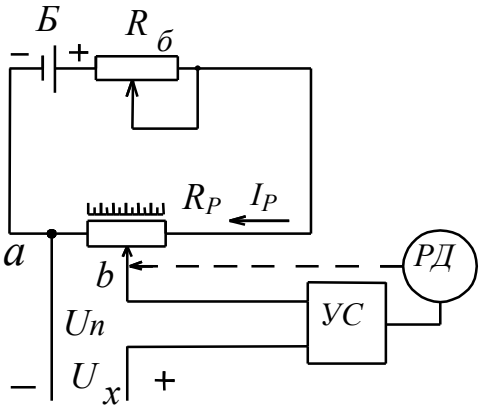

Рис. 3

При этом измеряемое напряжение U_x полностью компенсируется напряжением U_n, т.е. ($U_x = U_n$). Таким образом, каждому значению

напряжения U_x соответствует определенное положение контакта потенциометра b, при котором гальванометр Г имеет нулевое показание. Следовательно, по положению стрелки, механически связанной с подвижным контактом потенциометра, можно производить отсчет измеряемой величины U_x.

Для того чтобы компенсирующее напряжение U_n зависело только от положения подвижного контакта потенциометра, необходимо, чтобы по реохорду потенциометра протекал заданный ток, называемый рабочим током I_p. Этот ток регулируется реостатом $R_б$. Процесс измерения может быть автоматизирован путем замены гальванометра *Г* на электромеханическую следящую систему, включающую в себя: преобразователь, усилитель переменного тока, реверсивный двигатель и узел, позволяющий снимать показания и регистрировать изменение измеряемого параметра во времени. Такие приборы называют автоматическими электронными потенциометрами.

Равномерное перемещение диаграммы осуществляется синхронным электродвигателем, скорость вращения которого постоянна. На диаграмме перо чертит зависимость измеряемого параметра (температуры) от времени.

Примечание. Не следует путать потенциометр (устройство, состоящее из реохорда и подвижного контакта, называемого также движком потенциометра или токосъемником) с автоматическим потенциометром (прибором для измерения напряжения, например, выходного сигнала термопары).

3. Автоматический электронный потенциометр

Упрощенная схема автоматического потенциометра приведена на рис. 4.

Источником компенсирующего напряжения является мостовая схема. Напряжение, компенсирующее ЭДС термопары, снимается с одной из диагоналей моста (между вершинами 8 и 9). Источник питания включен в диагональ питания моста между двумя другими его вершинами (5 и 11).

При положении стрелки автопотенциометра на начальной отметке шкалы подвижный контакт потенциометра находится в крайнем левом положении. Перемещение подвижного контакта вправо приводит к увеличению напряжения на выходе моста (между точками 8 и 9). Максимальное значение компенсирующего напряжения снимается при правом крайнем положении подвижного контакта потенциометра. Соответствующим выбором величин резисторов $R_н$, $R_П$ можно регулировать пределы изменения компенсирующего напряжения на выходе моста. Все резисторы мостовой схемы, кроме резистора $R_м$, выполнены из провода, сопротивление которого практически не зависит от температуры.

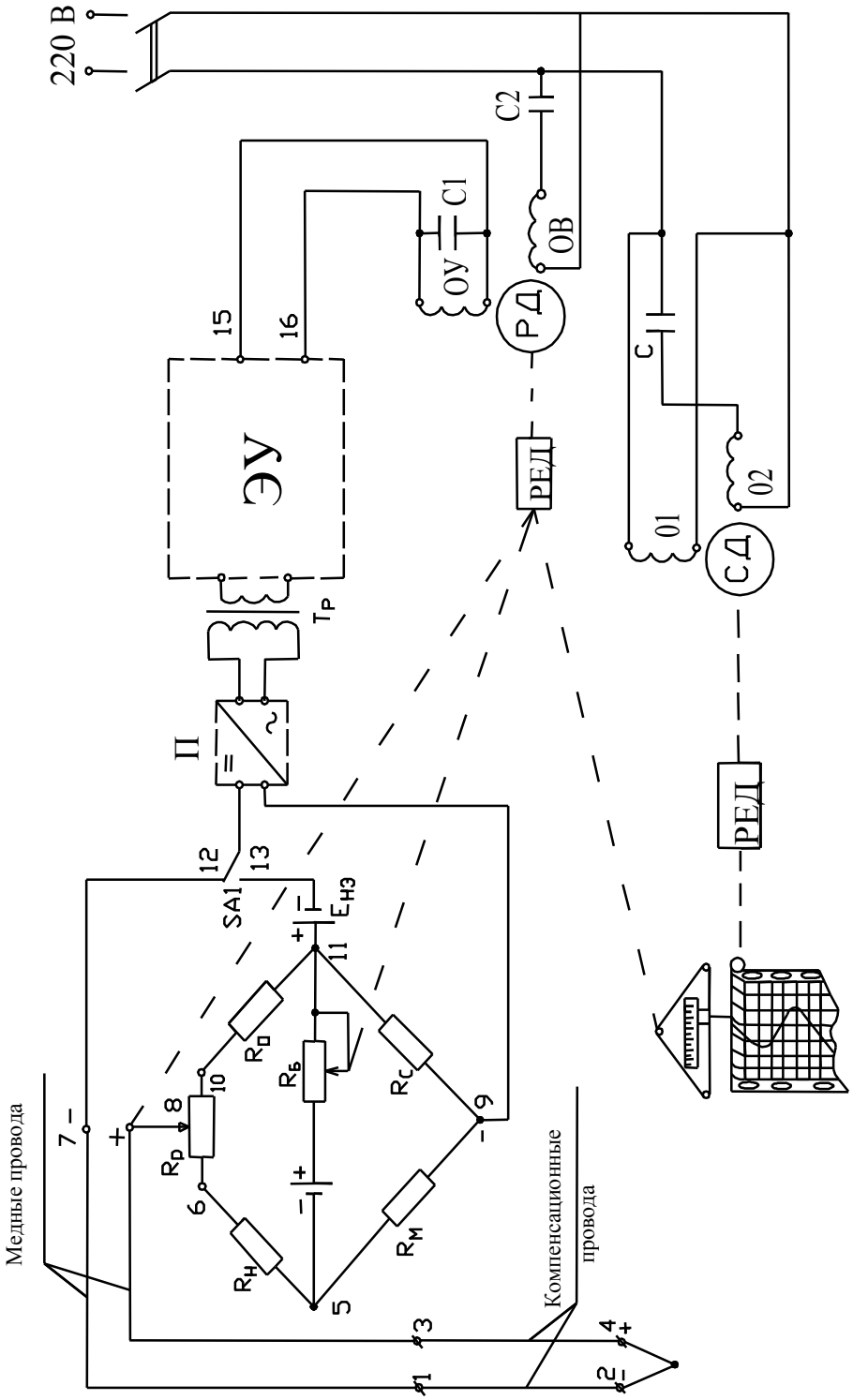
220 В
С2
С1
ОВ
ОУ
РД
15
16
ЭУ
Тр
П
12
13
SA1
Eнз
11
Rп
Rб
Rс
Rр
Rн
Rм
10
8
6
7
9
5
Медные провода
Компенсационные провода
1
2
3
4
С
01
02
СД
РЕД
РЕД

Рис. 4

Сопротивление $R_м$ выполнено из медного провода и помещается рядом со свободными концами термопары, что обеспечивает равенство их температур. Сопротивление $R_м$ выбрано таким образом, что напряжение между точками 8 и 9 изменяется на ту же величину, на которую изменяется ЭДС термопары вследствие изменения температуры ее свободных концов, в результате чего автоматически вводится поправка на величину ЭДС свободных концов термопары.

Величина сопротивления резистора R_C выбрана так, что при протекании по мостовой схеме постоянного по величине рабочего тока падение напряжения на этом сопротивлении равно ЭДС нормального элемента $E_{НЭ}$, являющегося стабильным источником ЭДС ($E_{НЭ}$ = 1,019 В). Постоянный по величине рабочий ток устанавливается изменением положения подвижного контакта реостата $R_б$.

Разность ЭДС термопары и компенсирующего ее выходного напряжения моста преобразуется из постоянного в переменное напряжение частотой 50 Гц с помощью фазочувствительного преобразователя *П* и трансформатора *Тр*.

Преобразование постоянного тока в переменный необходимо для того, чтобы можно было использовать электронный усилитель переменного тока. Усилители постоянного тока применять в данном случае нельзя вследствие присущего им произвольно изменяющегося выходного сигнала при нулевом входном сигнале (дрейф нуля).

Трансформатор предназначен для гальванической развязки измерительной схемы от электромеханической следящей системы, включающей в себя усилитель и реверсивный двигатель. Он также выполняет роль предварительного усиления сигнала рассогласования.

В ЭУ сигнал усиливается как по напряжению, так и по мощности и поступает далее на обмотку управления ОУ однофазного асинхронного реверсивного двигателя РД.

Если ЭДС термопары больше компенсирующего напряжения моста, то на выходе фазочувствительного преобразователя и электронного усилителя появляется сигнал, вызывающий вращение вала двигателя по часовой стрелке. Подвижный контакт реохорда будет перемещаться вправо.

Если ЭДС термопары меньше компенсирующего напряжения моста, то на выходе фазочувствительного преобразователя и электронного усилителя, появляется сигнал, вызывающий вращение вала двигателя против часовой стрелки. Подвижный контакт реохорда будет перемещаться влево.

Перемещение этого контакта будет происходить до полной компенсации ЭДС выходным напряжением моста.

При установке переключателя SA1 в положение 13 (рис. 4), на вход преобразователя П будет подана разность ЭДС нормального элемента и

напряжения, снимаемого с сопротивления R_C. На вход ЭУ поступит переменное напряжение разбаланса, РД начнет вращаться, перемещая при этом подвижный контакт реостата $R_б$. Это обусловлено тем, что через фрикционное сцепление осуществляется механическая связь РД с подвижным контактом реостата $R_б$. Вращение двигателя будет происходить до момента установки постоянного по величине рабочего тока в цепи реохорда за счет изменения сопротивления $R_б$.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка содержит следующее.

1. Электронный автоматический потенциометр.
2. Источник регулируемого напряжения ИРН (предназначен для имитации термопар при поверках термоэлектрических приборов)
3. Переносной потенциометр ПП.

Автоматический потенциометр питается от сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В. Он предназначен для работы в комплекте с термопарой градуировки ХА.

Таблица 2

t, °С	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
E_t,мВ	0	4,10	8,13	12,21	16,40	20,65	24,91	29,10	33,30	37,37	41,32	45,16
dE_t/dt,мВ/К	0,	0,041	0,040	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,041	0,040	0,039	0,038
Показ-я ПП: при увел-и показ-й Ел, мВ												
Показ-я ПП при ум-и показ-й Eп, мВ												
$\Delta\alpha$, °С												
ΔА, °С												
δ, °С												
$\gamma_{пр}$, %												
$\gamma_{пр}$,%												

Порядок выполнения работы

1. С разрешения преподавателя открыть автоматический потенциометр и ознакомиться с его устройством.
2. Произвести подготовку к работе потенциометра ПП. Для этого нужно:

а) откорректировать под наблюдением преподавателя гальванометр потенциометра, т.е. установить его на нуль;

б) установить рабочий ток потенциометра ПП.

3. Проверить погрешность автоматического потенциометра:

а) при увеличении показаний;

б) при уменьшении показаний.

4. Проверку производить на отметках шкалы 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 и 1000 °С по следующей методике:

а) включить питание стенда и потенциометра;

б) установить на потенциометре ПП напряжение, соответствующее ЭДС термопары при 100 °С (табл. 2), при этом переключатель «ИК» должен находиться в нейтральном положении;

в) вывести ручки ИРН (вращением против часовой стрелки до упора) и нажать кнопку на ИРН. Затем, вращая ручки ИРН по часовой стрелке, установить стрелку автопотенциометра на отметку 100°С (не переходя ее) и замерить переносным потенциометром напряжение на ИРН. Результат замера записать в табл. 2, (графа Ел). Аналогично проверить погрешность на остальных точках при увеличении показаний, а затем при уменьшении показаний;

г) выключить кнопку на ИРН и поставить переключатель потенциометра ИРН в нейтральное положение;

д) рассчитать вариацию автопотенциометра $\Delta\alpha$. Вследствие трения в подвижных элементах прибора, недостаточно высокого коэффициента усиления в усилителе и др. причин, при увеличении входного параметра (ЭДС термопары) до какой-либо величины или уменьшении его до той же величины, показания автопотенциометра будут различными. Эта разность показаний (вариация) определяется по формуле:

$$\Delta\alpha = \frac{E_п - E_л}{dE_t / dt}; \qquad (2)$$

е) рассчитать абсолютную погрешность прибора ΔA в °С. Она определяется как разность между средним показанием потенциометра ПП на проверяемой отметке шкалы и табличным значением ЭДС термопары E_t в переводе на °С. Расчет производить по формуле:

$$\Delta A = \frac{E_t - (E_л + E_п)/2}{dE_t / dt}; \qquad (3)$$

ж) рассчитать абсолютную поправку $\delta = -\Delta A$. Это величина, которую нужно алгебраически прибавить к результату измерения, чтобы получить действительное значение измеряемой величины;

з) рассчитать приведенную погрешность:

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta A}{t_{\max} - t_{\min}} \cdot 100\%; \qquad (4)$$

и) рассчитать приведенную погрешность по упрощенной формуле (не учитывающей нелинейность зависимости ЭДС термопары от температуры):

$$\gamma_{пр} = \frac{E_t - (E_л + E_п)/2}{E_{t\max} - E_{t\min}} \cdot 100\% , \qquad (5)$$

где $E_{t\,max}$ = 45,16 мВ; $E_{t\,min}$ = 0.

Все результаты расчетов занести в табл. 2;

к) построить график зависимости абсолютной поправки от измеряемой температуры.

Указания по оформлению отчета

Отчет должен содержать следующее.

1. Принципиальную электрическую схему автоматического потенциометра и краткое описание его работы.
2. Таблицу результатов экспериментов и расчетов (табл. 2).
3. График поправок.
4. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Изложите сущность компенсационного метода, его преимущества и недостатки.
2. Расскажите о принципе действия автоматического потенциометра.
3. Какие технологические параметры (физические величины) можно измерять с помощью потенциометров?
4. Назначение и работа преобразователя постоянного тока в переменный.
5. Назначение и работа мостовой схемы автоматического потенциометра.
6. Что произойдет при смене полярности включения:

а) сухого элемента (батареи);

б) термопары;

в) обмотки возбуждения реверсивного двигателя?

Литература

1. Мейзда Ф.Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М.: Мир, 1990. – 536 с.

2. Котур В.И., Скомская М.А., Храмова Н.Н. Электрические измерения и электроизмерительные приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400 с.

3. Байда Л.И., Добротворский Н.С., Душин Е.М. и др. Электрические измерения / под ред. А.В. Фремке, Е.М. Душина.. – Л.: Энергия, 1980. – 392 с.

4. Сафиуллин Р.К. Основы автоматики и автоматизация процессов: учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2013. – 188 с.

Лабораторные работы 4–5

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ (ЭЛЕКТРОННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ МОСТЫ, ПОТЕНЦИОМЕТРЫ И ЛОГОМЕТРЫ)

Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех форм обучения по направлениям подготовки:
270800.62 «Строительство», 230400.62 «Информационные
системы и технологии», 280700.62 «Техносферная безопасность»

Составители: Сафиуллин Р.К., Яхин Р.Г.

Корректура авторов