

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»



Н.П. Бессонов

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Учебное электронное текстовое издание
Подготовлено кафедрой «Автоматика и информационные технологии»
Научный редактор: доц., канд. техн. наук Э.Г. Миронов

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Сбор и обработка первичной технологической информации» для студентов специальности 2101 – Автоматика и управление в технических системах.

Содержат краткие теоретические сведения по работе первичных преобразователей, используемых в цифровых измерителях температуры, приводится схема установки для исследования цифровых методов измерения, порядок выполнения измерений и последовательность обработки полученных результатов. Приводятся контрольные вопросы для самопроверки.

© ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005

Екатеринбург
2005

Цель работы

Ознакомиться с цифровыми методами измерения температуры при использовании в качестве первичных преобразователей термосопротивлений, термопар и кварцевых преобразователей.

Основные теоретические сведения

Одним из наиболее часто измеряемых и контролируемых параметров как на производстве, так и в научных исследованиях является температура. В связи с этим интерес представляет рассмотрение методов получения, преобразования и обработки термометрической информации.

Обычно измеряемые температуры лежат в диапазоне от -273 до 3000 °С, в плазме могут быть температуры более 10^8 °С. Поэтому для измерения во всех возможных случаях необходимы разнообразные средства и методы измерений, к которым, в зависимости от поставленной задачи измерения, выдвигаются существенно различные требования, касающиеся точности и диапазонов измерения.

Существует обширный арсенал методов и приборов для измерения температуры, которые охватывают все разнообразие объектов, условий и режимов измерений.

Для измерения температур в промышленности нашли широкое применение электрические термопреобразователи, выходной сигнал которых в виде изменения напряжения, сопротивления или частоты поступает для обработки в подключенный к преобразователю вторичный измерительный или регулирующий прибор.

Принцип действия термоэлектрических преобразователей основан на явлении термоэлектрического эффекта, сущность которого заключается в том, что в месте соединения двух проводников из разных металлов или сплавов возникает электродвижущая сила (ЭДС). Если места соединений разнородных проводников, образующих замкнутую цепь, имеют различную температуру, то в цепи появляется электрический ток.

Сваренные (или спаянные) между собой разнородные проводники, образующие термопару, называют электродами. Спай электродов, помещенный в среду с температурой τ , которую требуется измерить, носит название рабочего (горячего) конца термопары. Свободные (холодные) концы термопары, к которым присоединяются медные провода, располагаются в местах с более низкой и постоянной температурой τ_0 . К материалам для изготовления термопар предъявляются

жесткие требования по стабильности термоэлектрических свойств в процессе работы и по взаимозаменяемости однотипных термопар. В настоящее время утверждены и действуют общегосударственные стандарты (например, ГОСТ 10821–75, ГОСТ 1790–71) на термопары, выпускаемые отечественной промышленностью.

Величина термоЭДС зависит как от материала электродов, образующих термопару, так и от температуры ее рабочего и холодного концов. Каждая термопара имеет свою градуировку, т. е. определенную зависимость термоЭДС от температуры $E(\tau)$ при постоянной температуре свободных концов τ_0 . Для однообразия и возможности сравнения отдельных измерений градуировочные таблицы составляются при $\tau_0 = 0$ °С, т. е. в них приводятся значения $E(\tau, 0)$.

Основное уравнение термоэлектрической цепи может быть записано в следующем виде:

$$E(\tau, 0) = E(\tau, \tau_0) + E(\tau_0, 0), \quad (1)$$

где $E(\tau, 0)$ – табличное значение ЭДС термопары, соответствующее измеряемой температуре τ , мВ;

$E(\tau, \tau_0)$ – фактическое (измеренное) значение ЭДС термопары, имеющей температуру рабочего конца τ и свободных концов τ_0 , мВ;

$E(\tau_0, 0)$ – поправка на температуру свободных концов, равная табличному значению ЭДС термопары, рабочий конец которой имеет температуру τ_0 , мВ.

Этим уравнением пользуются при поверке и градуировке измерительных приборов по эталонным приборам, шкалы которых отградуированы в милливольтах.

Основные типы стандартных термопар и их градуировочные характеристики (ГОСТ 3044-77), составленные в соответствии с МПТШ68, приведены в табл. 1, а в табл. 2 – значения ЭДС для хромель-алюмелевой термопары градуировки ХА₆₈.

Таблица 1

Основные типы стандартных термопар и их градуировочные характеристики

Наименование термопары	Условное обозначение типа градуировки		Верхний предел измер., °С		ТермоЭДС при макс. температуре, мВ
			при длит. нагреве	при кратковр. нагр.	
Платинородий-платина	ТПП	ПП ₆₈	1300	1600	16,685
Хромель-алюмель	ТХА	ХА ₆₈	1000	1300	52,398

Хромель-копель	ТХК	ХК ₆₈	600	800	66,42
----------------	-----	------------------	-----	-----	-------

Другой вид преобразователей, которые получили широкое применение для измерения температуры, это терморезисторные преобразователи (термосопротивления). *Терморезистором* называется проводник или полупроводник с большим температурным коэффициентом сопротивления, находящийся в теплообмене с окружающей средой.

Интенсивность теплообмена термосопротивления со средой зависит от геометрических размеров проводника и состояния его поверхности; геометрических размеров и формы арматуры, к которой крепится проводник; физических свойств газовой или жидкой среды (плотность, теплопроводность, вязкость); скорости движения газовой или жидкой среды; температуры среды и арматуры и т. д. При установившемся тепловом равновесии температура, а следовательно и сопротивление проводника, зависит от перечисленных факторов и от протекающего через проводник тока.

Зависимость сопротивления проводника (или полупроводника) от перечисленных факторов используют для измерения различных неэлектрических величин, характеризующих газовую или жидкую среду: температуры, скорости движения вещества, концентрации, плотности (вакуума). При конструировании соответствующих преобразователей стремятся к тому, чтобы все факторы, за исключением измеряемой величины, возможно меньше влияли на температуру проводника при тепловом равновесии. Уменьшив, таким образом, зависимость температуры проводника от мешающих факторов, можно измерять соответствующую неэлектрическую величину, измеряя сопротивление проводника. При этом следует стремиться уменьшить потери через теплопроводность проволоки и через лучеиспускание. Часто терморезисторы изготавливают из тонкой проволоки диаметром 0,02–0,06 мм, укрепляя ее концы в массивных держателях. Теоретически и экспериментально доказано, что при отношении длины l к диаметру d проволоки порядка 500 и выше потерями через теплопроводность проводника можно пренебречь.

Терморезисторы, используемые в приборах для измерения температуры, работают при малой нагрузке током с тем, чтобы тепло, выделяемое током в терморезисторе, было минимальным по сравнению с теплом, получаемым от испытываемой среды.

Материалы, используемые для изготовления терморезисторов, должны обладать:

- однозначной зависимостью сопротивления от температуры и стойкостью против коррозии, обеспечивающими надежность измерения;
- высоким и, по возможности, постоянным температурным коэффициентом электрического сопротивления, дающим высокую чувствительность прибору и линейное изменение сопротивления проводника от температуры;
- большим удельным сопротивлением, позволяющим изготавливать преобразователи малых размеров.

Из числа чистых металлов наиболее пригодными для изготовления терморезисторных преобразователей являются платина (Pt) и медь (Cu).

На рис. 1 представлено относительное изменение сопротивлений указанных металлов в функции температуры $R_t/R_0 = f(t)$, где R_t – сопротивление при температуре t , а R_0 – при $0\text{ }^\circ\text{C}$, принятое за единицу.

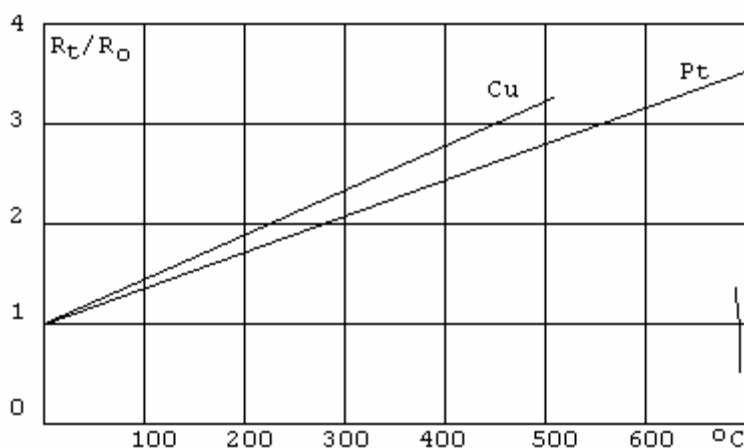


Рис.1 Зависимость относительного сопротивления платины и меди от температуры.

Наилучшим материалом для терморезисторов считается платина, которая обладает большой химической инертностью и может быть легко получена в чистом виде. Она имеет достаточно большой температурный коэффициент электрического сопротивления ($3,91 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) и высокое удельное сопротивление ($0,099 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$). Верхний температурный предел применения платиновых терморезисторов из соображений механической прочности ограничивается $650\text{ }^\circ\text{C}$.

Зависимость сопротивления металлов от температуры не является линейной. Для платины зависимость сопротивления R от температуры t в пределах от 0 до $660\text{ }^\circ\text{C}$ выражается уравнением:

$$R_t = R_0(1 + A_t + B_t^2), \quad (2)$$

где R_0 – сопротивление при $0\text{ }^\circ\text{C}$.

Для меди при расчете сопротивления, соответствующего температуре t , пользуются обычно двухчленной формулой:

$$R_t = R_0[1 + \alpha_0(t - t_0)], \quad (3)$$

где R_0 – сопротивление при температуре t_0 ;

α_0 – температурный коэффициент для интервала температур, начинающегося от t_0 .

К числу перспективных относятся измерительные преобразователи с частотным выходным сигналом, использование которых обеспечивает высокую помехоустойчивость (например, ослабление влияния промышленных помех), отсутствие потерь информации, вызванных шунтирующим действием нагрузки и затуханием сигналов, простоту и точность преобразования частоты в код, удобство коммутации и интегрирования частотного сигнала, упрощение линий связи и т. п.

Среди преобразователей с частотным выходным сигналом особое место занимают новые преобразователи, созданные на основе термочувствительного кварцевого резонатора. *Пьезоэлектрическим кварцевым резонатором* (КР) называют устройство, состоящее из пьезоэлектрического кристалла и приспособления, предназначенного для закрепления и соединения его с внешней электрической цепью. Выбирая соответствующую ориентацию среза пьезоэлемента относительно кристаллографических осей, можно изменять его термочастотную характеристику, которая в общем случае является нелинейной функцией температуры.

Резонансная частота кварцевого резонатора определяется выражением:

$$f_0 = nN / H, \quad (4)$$

где n – гармоника, на которой возбуждаются колебания в пьезоэлементе ($n = 1, 3, 5, \dots$);

H – линейный размер в направлении распространения колебаний, мм;

N – частотная постоянная, кгц·мм.

Для измерения температуры с применением кварцевых преобразователей могут быть применены ряд схем включения датчика.

Описание лабораторного стенда

Используемый в работе лабораторный стенд содержит преобразователь напряжения в частоту типа П-206, частотомер типа Ф-206, первичные преобразователи (термопару, терморезистор, кварцевый преобразователь), схемы согла-

сования первичных преобразователей со входом устройства и схему управления работой устройства. Преобразователь напряжения, частотомер и схема управления объединены в одном корпусе устройства, на лицевой панели которого имеются соответствующие органы управления. Структурная схема прибора представлена на рис. 2.

Программа работы

1. Тщательно ознакомиться с устройством и конструкцией прибора.
2. Произвести поверку прибора на основной шкале ($-50-+100$) °С для медного термометра сопротивления по контрольному магазину сопротивлений типа МСР-63 класса 0,05 с помощью градуировочной табл. 3. При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

1) температура окружающего воздуха, °С	20±5
2) относительная влажность, %	от 30 до 80
3) напряжение питающей сети, В	220±5
4) частота сети, Гц	50±1
5) барометрическое давление, мм.рт.ст.	760±25
6) тряска, удары	отсутствуют
7) внешние магнитные и электрические поля (кроме земного)	отсутствуют

Поверку произвести на всем диапазоне шкалы через 10 градусов. Для каждой контрольной точки на магазине сопротивления устанавливается значение, соответствующее по таблице данной температуре.

Расчет погрешности производится по формуле:

$$\gamma = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_k - \tau_n}, \quad (5)$$

где τ – показание прибора, в °С ;

τ_0 – табличное значение температуры в контролируемой точке, в °С ;

τ_n, τ_k – значения температуры, соответствующие начальному и конечному значениям диапазона измерения данного прибора.

3. Оценить постоянную времени промышленного термосопротивления типа ТСМ-410-01 при различных условиях теплообмена со средой (нагрев вследствие конвективного движения воздуха в лаборатории, охлаждение дви-

жущимся воздухом за окном, нагрев до комнатной температуры при обдувании вентилятором и т. п.).

4. Оценить экспериментально и расчетным путем погрешность измерений температуры от перегрева терморезистора проходящим по нему током.

Экспериментальная оценка погрешности от перегрева производится по изменению показаний прибора при включении его в режим измерения (частотомер Ф-206 включен и прогрев – первое показание, преобразователь П-206 включен и переключается с режима установки нуля в режим измерения температуры – второе показание). При экспериментальной оценке погрешности необходимо учитывать инерционные свойства терморезистора.

Температура перегрева $\Delta\Theta$ расчетным путем определяется из выражения:

$$\Delta\Theta = \frac{I^2 R_I}{\alpha_k S}, \quad (6)$$

где I – ток через термосопротивление (8,5 мА);

R – сопротивление преобразователя;

α_k – коэффициент теплоотдачи (для рассматриваемого преобразователя $\alpha_k = 20 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ\text{C}$);

S – полная площадь поверхности термосопротивления, м^2 .

5. Исследовать влияние сопротивления соединительных проводов четырехпроводной линии связи первичного преобразователя с прибором на результаты измерений.

6. Произвести поверку прибора на основной шкале (0÷100) $^\circ\text{C}$ для термоэлектрического термометра типа ТХА. В качестве источника ЭДС используется универсальный потенциометр типа УПИП-60М класса 0,05. Значения ЭДС устанавливаются в соответствии с табл. 2 для термопары градуировки ХА₆₈.

7. Произвести поверку прибора для кварцевого преобразователя температуры путем подачи на вход прибора частоты в диапазоне 5000–5018,5 кГц, что соответствует при крутизне преобразователя 185 Гц/ $^\circ\text{C}$ диапазону изменения температуры 0–100 $^\circ\text{C}$.

8. Оценить постоянную времени кварцевого преобразователя в различных условиях теплообмена со средой.

В отчете по данной работе должны быть представлены структурная схема прибора, схемы, по которым осуществляется поверка прибора с различными

градуировками и описание выполнения поверок, результаты испытаний в виде таблиц и графиков, расчеты, выводы (о характеристиках и параметрах прибора, погрешности и т. п. при работе с различными преобразователями).

Таблица 2

Градуировочная таблица для медных термометров сопротивления
Градуировка «23» ($R_0 = 53,00 \text{ Ом}$)

°C	Сопротивление, Ом	°C	Сопротивление, Ом	°C	Сопротивление, Ом
-50	41,74	10	55,25	60	66,52
-40	43,99	15	56,38	65	67,64
-30	46,24	20	57,50	70	68,77
-25	47,37	25	58,63	75	69,89
-20	48,50	30	59,76	80	71,02
-15	49,62	35	60,88	85	72,15
-10	50,75	40	62,01	90	73,27
-5	51,87	45	63,14	95	74,40
0	53,00	50	64,26	100	75,52
5	54,13	55	65,39		

Таблица 3

Градуировочная таблица термопары хромель-алюмель
Градуировка XA_{68}

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ЭДС (мВ)	0	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68	4,10

Контрольные вопросы

1. Что следует изменить или (и) дополнить в схеме прибора, чтобы в качестве первичного преобразователя можно было использовать платиновое термосопротивление? ($R_0 = 46,00 \text{ Ом}$, $R_{100} = 63,89 \text{ Ом}$.)

2. Какова цель использования четырехпроводной схемы включения термосопротивления?

3. Поясните работу прибора в случае использования кварцевого преобразователя с другой крутизной характеристики (например, $200 \text{ Гц/}^\circ\text{C}$).

4. Какие еще первичные преобразователи, по Вашему мнению, могут быть использованы для работы с прибором Ф-206 и каким образом?

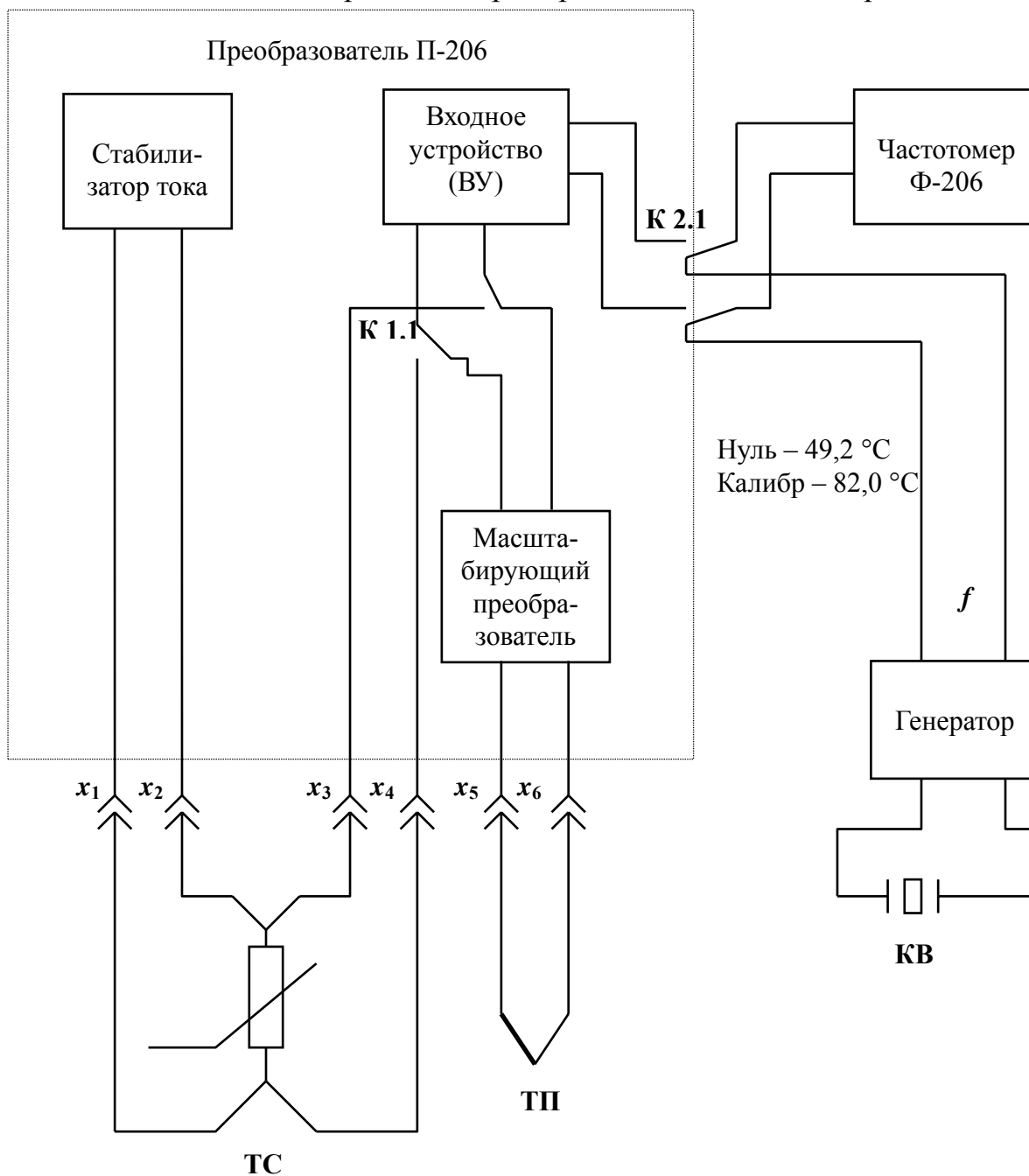


Рис. 2. Структурная схема цифрового измерителя температуры, где ТС – термосопротивление, ТП – термопара, КВ – кварцевый преобразователь температуры

Список литературы

1. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Туричин. – Л. : Энергия, 1979. 690 с.

2. Электрические измерения неэлектрических величин / под ред. П.В. Новицкого. – Л. : Энергия, 1975. 576 с.

3. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы / В.П. Преображенский. – М. : Энергия, 1978. 703 с.

4. Голембо В.А. Пьезокварцевые аналого-цифровые преобразователи температуры / В.А. Голембо, В.Л. Котляров, Б.И. Швецкий. – Львов : Издательство при Львовском университете издательского объединения Вища школа, 1977. 172 с.

Учебное электронное текстовое издание

Николай Петрович Бессонов

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Редактор *А.А. Гребенщикова*
Компьютерная верстка *А.А. Гребенщикова*

Рекомендовано РИС ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

Разрешен к публикации 03.04.06.

Электронный формат – PDF

Формат 60×90 1/8

Издательство ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

e-mail: sh@uchdep.ustu.ru

Информационный портал

ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

<http://www.ustu.ru>