

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Курганский государственный университет

Кафедра автоматизации производственных процессов

Измерительные преобразователи

Методические указания к выполнению контрольного задания по курсу
«Технические измерения и приборы» для студентов заочной формы обучения
специальности 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и
производств (в машиностроении)»

Курган 2012

Кафедра автоматизации производственных процессов

Дисциплина: «Технические измерения и приборы»

Составил: канд. техн. наук, доцент В.П. Кузнецов

Утверждено на заседании кафедры «6» сентября 2012 г.

Рекомендовано методическим советом университета «28» сентября 2012 г.

Содержание

Введение.....	4
1. Пьезоэлектрические преобразователи.....	4
2. Тензорезисторы	7
3. Терморезисторы	9
4. Емкостные уровнемеры.....	11
5. Термоэлектрические преобразователи.....	13
6. Виды упругих элементов и области их использования	15
7. Порядок выполнения задания	17
Список литературы	19

Введение

Среди множества измеряемых технологических параметров большая часть относится к неэлектрическим величинам (температура, влажность, скорость, ускорение, расход и т.д.). При измерении таких величин часто возникают задачи дистанционного измерения, передачи, регистрации и обработки измерительной информации. Наилучшим образом эти задачи решаются путем преобразования измеряемой неэлектрической величины $X_{нэ}$ в электрический сигнал $X_э$, связанный с измеряемой величиной однозначной функциональной зависимостью $X_э = f(X_{нэ})$. Полученный электрический сигнал измеряется средствами электрических измерений или может быть передан по линии связи на значительные расстояния.

Преобразование неэлектрической величины в электрическую осуществляется с помощью измерительных преобразователей (ИП). Структурная схема любого средства измерения неэлектрических величин электрическими методами содержит измерительный преобразователь в соответствии с рис. 1.



Рис.1. Структурная схема преобразования неэлектрических величин

Измерительные преобразователи классифицируют по способу формирования выходной величины $X_э$ на генераторные и параметрические. Выходным сигналом генераторных преобразователей является ЭДС, ток или заряд, функционально связанный с измеряемой величиной. В параметрических преобразователях выходной величиной является изменение параметра электрической цепи – активного сопротивления R , индуктивности L или емкости C .

В данной контрольной работе рассматриваются физические явления и эффекты, составляющие принцип действия и наиболее часто используемые в измерительной технике.

1. Пьезоэлектрические преобразователи

Принцип действия таких преобразователей основан на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, который заключается в свойстве некоторых материалов, называемых пьезоэлектрическими, преобразовывать механические деформации в изменение электростатических зарядов на их гранях.

Это явление обратимо: при приложении электрического напряжения к граням пьезоэлектрики деформируются (обратный пьезоэффект). Прямой пьезоэффект знаковозависим, то есть при замене растяжения сжатием знаки зарядов на гранях изменяются на противоположные. К пьезоэлектрическим материалам относятся кристаллы кварца SiO_2 , турмалина, сегнетовой соли и др. Пьезоэлектрическим эффектом обладают также некоторые поляризованные керамические материалы, например, титанат бария BaTiO_3 , цирконат-титанат свинца ЦТС. Для поляризации керамические изделия помещаются в сильное электрическое поле, после чего они приобретают свойства пьезоэлектриков. Эти материалы сохраняют свои пьезоэлектрические свойства только при температурах ниже некоторого значения, называемого точкой Кюри.

Если из кристалла кварца вырезать пластину в форме параллелепипеда с гранями, расположенными перпендикулярно оптической оси Oz , механической Oy , и электрической Ox осям кристалла (рис.2), то при воздействии на пластинку усилия F_x , направленного вдоль электрической оси, на гранях X появляются заряды

$$Q_x = d_{11}F_x, \quad (1)$$

где d_{11} – пьезоэлектрический модуль.

При воздействии на пластинку усилия F_y вдоль механической оси, на тех же гранях возникают заряды

$$Q_y = d_{12}F_y a/b, \quad (2)$$

где a и b – размеры граней пластины.

Механическое воздействие вдоль оптической оси появление зарядов не вызывает. Первая цифра в индексе пьезомодуля обозначает номер грани, на которой возникает заряд, а вторая цифра – номер оси, вдоль которой приложена сила.

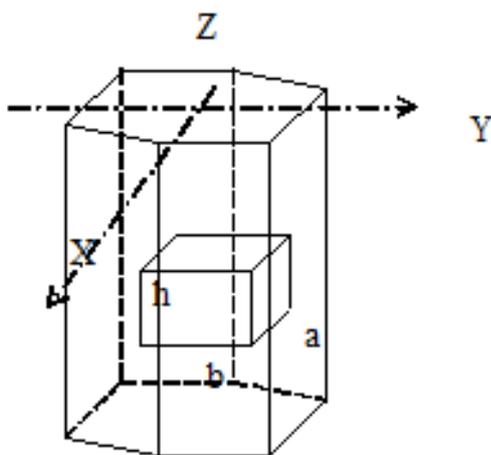


Рис.2. Пьезокристалл

Электрическое напряжение, возникающее на электродах пьезоэлектрического преобразователя, довольно значительно – единицы вольт. Однако, если измеряемая сила постоянна, то измерить напряжение трудно, поскольку заряд мал и быстро стекает через входное сопротивление

вольтметра. Если же сила переменная, то процесс утечки почти не влияет на измерение, поэтому пьезоэлектрические преобразователи применяются только для измерения быстропеременных процессов.

Таким образом, измерение неэлектрических величин, которые предварительно могут быть преобразованы в переменную силу, действующую на пьезоэлектрический преобразователь, сводится к измерению переменного напряжения.

Пьезоэлектрические измерительные преобразователи находят широкое применение для измерения параметров линейного и вибрационного движения, ударов, акустического давления, а также в расходомерах.

Задача 1. Определить напряжение между обкладками пьезоэлектрического элемента, выполненного в форме диска диаметром D и толщиной h при действии на него силы F . Значения D , h , F и материал пьезоэлемента по вариантам даны в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров к задаче 1

№ варианта	Параметры			
	D , мм	h , мм	F , Н	Материал
1, 21,41, 61,81	10	1,0	30	SiO ₂
2, 22, 42, 62, 82	15	1,1	25	BaTiO ₃
3, 23, 43, 63, 83	12	1,2	35	ЦТС
4, 24, 44, 64, 84	10	1,3	40	SiO ₂
5, 25, 45, 65, 85	12	0,9	45	BaTiO ₃
6, 26, 46, 66, 86	13	1,0	30	ЦТС
7, 27, 47, 67, 87	15	1,4	25	SiO ₂
8, 28, 48, 68, 88	10	0,8	35	BaTiO ₃
9,29, 49, 69, 89	12	1,1	40	ЦТС
10, 30, 50, 70,80	10	1,0	30	BaTiO ₃
11, 31, 51, 71, 91	16	1,2	35	SiO ₂
12, 32, 52, 72, 92	12	0,8	40	BaTiO ₃
13, 33, 53, 73, 93	13	0,9	45	ЦТС
14, 34, 54, 74, 94	14	1,0	50	SiO ₂
15, 35, 55, 75, 95	15	0,8	40	BaTiO ₃
16, 36, 56, 76, 96	11	1,1	35	ЦТС
17, 37, 57, 77, 97	10	1,2	35	SiO ₂
18, 38, 58, 78, 98	15	1,3	55	BaTiO ₃
19, 39, 59, 79, 99	14	1,0	40	ЦТС
20, 40, 60, 80, 100	12	0,8	30	SiO ₂

2. Тензорезисторы

В измерительной практике часто необходимы измерения механических напряжений и деформаций в элементах конструкций. Наиболее распространенными преобразователями этих величин в электрический сигнал являются тензорезисторы. В основе работы тензодатчиков лежит свойство металлических и полупроводниковых материалов изменять свое электрическое сопротивление при упругих деформациях, возникающих при действии на них силы F .

Изменение сопротивления тензодатчиков характеризуется относительным коэффициентом тензочувствительности S_T

$$S_T = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = E \frac{\Delta R / R}{\sigma}, \quad (3)$$

где R и l – начальные сопротивление и длина проводника; $\Delta R, \Delta l$ - изменение сопротивления и длины; σ - механическое напряжение в материале; E - модуль упругости.

Изменение сопротивления материала при деформации объясняется двумя факторами: изменением геометрических размеров и изменением удельного сопротивления, причем первый фактор характерен для проводников, второй - для полупроводников.

Чувствительные элементы тензодатчиков выполняют из металлической проволоки и фольги, полупроводников круглого и плоского сечения. По конструктивному исполнению тензодатчики разделяют на наклеиваемые и неклеиваемые. Наклеиваемые тензодатчики представляют собой тонкие эластичные изоляционные пластинки, внутри которых заделан тензочувствительный элемент. Пластинки наклеиваются на поверхность детали, это дает им возможность воспринимать деформации наружных волокон. Датчики реагируют на растяжение, сжатие или кручение. Чувствительный элемент проволочных тензодатчиков представляет собой решетку, составленную из петель с параллельными нитями (рис.3). Аналогичную форму имеют фольговые и пленочные тензодатчики.

В качестве материала для изготовления проводниковых тензорезисторов чаще всего используют константан. Основными характеристиками тензорезисторов являются номинальное сопротивление R , база l и коэффициент относительной тензочувствительности. Промышленностью выпускается широкий ассортимент тензорезисторов с величиной базы от 5 до 30 мм, номинальными сопротивлениями от 50 до 2000 Ом, коэффициентом тензочувствительности $2,0 \pm 0,2$.

Наряду с проводниковыми широко применяются полупроводниковые тензодатчики. Наиболее сильно тензоэффект выражен у германия и кремния. Свойства полупроводниковых тензодатчиков существенно зависят от ориентации действия сил и направления тока относительно главных осей кристалла, от вида и количества примесей. Так, например, можно изменять

продольную тензочувствительность кремния от -130 до $+170$, сопротивление датчика от 100 до 50000 Ом при одних и тех же размерах.

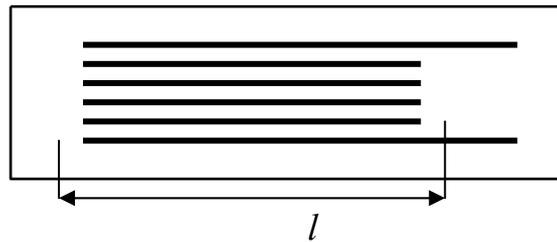


Рис.3. Тензодатчик

Тензорезисторы являются параметрическими преобразователями и почти всегда включаются в мостовую измерительную схему. С помощью тензодатчиков можно измерять такие неэлектрические величины, которые предварительно преобразуются в деформацию упругого элемента, например, давление, массу, силу и т.д.

Задача 2. Проволочный константовый тензорезистор с базой L и номинальным сопротивлением R наклеен на деталь, которая в месте установки тензорезистора имеет относительное удлинение ϵ_l . Определить абсолютное и относительное изменение сопротивления.

Таблица 2

Значения параметров к задаче 2

№ варианта	Параметры тензорезистора		
	L , мм	R , Ом	$\epsilon_l \cdot 10^{-3}$
1, 21, 41, 61, 81	10	100	2
2, 22, 42, 62, 82	11	105	3
3, 23, 43, 63, 83	12	110	4
4, 24, 44, 64, 84	13	100	5
5, 25, 45, 65, 85	14	105	6
6, 26, 46, 66, 86	15	110	2
7, 27, 47, 67, 87	10	100	3
8, 28, 48, 68, 88	11	105	4
9, 29, 49, 69, 89	12	110	5
10, 30, 50, 70, 80	13	100	6
11, 31, 51, 71, 91	14	95	2
12, 32, 52, 72, 92	15	100	3
13, 33, 53, 73, 93	10	105	4
14, 34, 54, 74, 94	11	110	5
15, 35, 55, 75, 95	12	120	6
16, 36, 56, 76, 96	13	115	2
17, 37, 57, 77, 97	14	95	3
18, 38, 58, 78, 98	15	105	4
19, 39, 59, 79, 99	10	100	5
20, 40, 60, 80, 100	12	115	6

3. Терморезисторы

Терморезистором называется измерительный преобразователь, активное сопротивление которого изменяется при изменении температуры. В качестве терморезистора может использоваться металлический или полупроводниковый резистор. Датчики температуры с терморезисторами называются термометрами сопротивления. Имеются два вида терморезисторов: металлические и полупроводниковые.

Принцип действия и конструкция металлических терморезисторов. Как известно, сопротивление металлов увеличивается с увеличением температуры. Для изготовления металлических терморезисторов обычно применяется медь и платина. Функция преобразования медного терморезистора линейна

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (4)$$

где R_0 – сопротивление при 0°C ; α – температурный коэффициент сопротивления, равный $4,28 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Температурный коэффициент сопротивления отражает относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1°C .

Функция преобразования платинового терморезистора нелинейная и обычно аппроксимируется квадратичным трехчленом.

Чувствительный элемент медного термометра сопротивления представляет собой пластмассовый цилиндр, на который бифилярно в несколько слоев намотана медная проволока. Сверху катушка покрыта графитовым лаком, к концам обмотки припаиваются медные выводные провода. Чувствительный элемент вставляется в тонкостенную металлическую гильзу, которая, в свою очередь, помещается в защитную гильзу. При изготовлении платиновых термометров сопротивления применяются более теплостойкие материалы.

Основные параметры наиболее распространенных термометров сопротивления и обозначения их градуировок приведены в табл. 3.

Таблица 3

Основные параметры термометров сопротивления

Термометры сопротивления платиновые			Термометры сопротивления медные		
Сопротивление R_0	Градуировка	Диапазон измерения, $^\circ\text{C}$	Сопротивление R_0	Градуировка	Диапазон измерения, $^\circ\text{C}$
10	10П	-200...750	10	10М	-50...200
50	50П	-260...1000	50	50М	-50...200
100	100П	260...1000	100	100М	-200...200

С увеличением температуры сопротивление полупроводниковых терморезисторов уменьшается. Их функцию преобразования обычно аппроксимируют выражением:

$$R_t = Ae^{B/T}, \quad (5)$$

где R_t – сопротивление термистора при температуре T в Кельвинах; A и B – постоянные, зависящие от материала и технологии, причем A зависит, кроме того, от размеров и его формы.

Чувствительный элемент полупроводникового терморезистора – термистора – изготавливается из окислов различных металлов: меди, кобальта, магния, марганца и др. Размолотые в мелкий порошок компоненты прессуются и спекаются в виде столбиков, шариков или шайбочек. В надлежащих местах напыляются электроды и подпаиваются выводы. Для предохранения от атмосферных воздействий чувствительный элемент термистора покрывают защитной краской, помещают в герметичный корпус или запаивают в стекло. Термисторы изготавливаются с номинальным сопротивлением (при 20°C) от 1 до 200 кОм и могут применяться для измерения температур от -100 до 600°C .

Чувствительность термисторов на порядок выше, чем у металлических терморезисторов. Кроме того, термисторы имеют значительно меньшие размеры.

Недостатком термисторов является нелинейность функции преобразования, большой технологический разброс их параметров, а также старение и некоторая нестабильность характеристики.

Термисторы применяются для измерения температуры в тех случаях, когда не требуется высокая точность, но нужно измерить температуру малых объемов. Широкое применение термисторы находят в различных приборах для температурной коррекции их характеристик.

Задача 3. Определить ток в цепи I , состоящей из последовательного соединения источника напряжения U и медного термометра сопротивления ТСМ, при температуре t_1 и t_2 .

Таблица 4

Значения параметров к задаче 3

№ варианта	U , В	R_0 , Ом	t_1 , $^\circ\text{C}$	t_2 , $^\circ\text{C}$
1, 21, 41, 61, 81	36	50	-50	50
2, 22, 42, 62, 82	100	100	-40	100
3, 23, 43, 63, 83	220	500	-30	150
4, 24, 44, 64, 84	40	50	-20	50
5, 25, 45, 65, 85	50	100	-10	180
6, 26, 46, 66, 86	60	500	-50	120
7, 27, 47, 67, 87	70	50	-40	110
8, 28, 48, 68, 88	80	100	-30	130

9,29, 49, 69, 89	90	500	-20	140
10, 30, 50, 70,80	220	50	-10	160
11, 31, 51, 71, 91	40	50	-20	50
12, 32, 52, 72, 92	50	100	-10	180
13, 33, 53, 73, 93	60	500	-50	120
14, 34, 54, 74, 94	70	50	-40	110
15, 35, 55, 75, 95	36	50	-50	50
16, 36, 56, 76, 96	100	100	-40	100
17, 37, 57, 77, 97	220	500	-30	150
18, 38, 58, 78, 98	40	50	-20	50
19, 39, 59, 79, 99	50	100	-10	180
20, 40, 60, 80, 100	36	100	-20	150

4. Емкостные уровнемеры

В уровнемерах этого типа используется зависимость электрической емкости чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя от уровня жидкости. Конструктивно емкостные чувствительные элементы выполняют в виде коаксиально расположенных цилиндрических электродов или параллельно расположенных плоских электродов. Конструкция емкостного чувствительного элемента с коаксиально расположенными электродами физико-химическими свойствами жидкости для неэлектропроводных жидкостей приведена на рисунке 4.

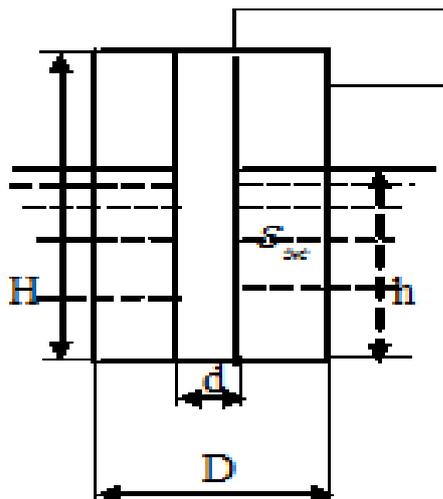


Рис.4. Емкостный уровнемер

Чувствительный элемент состоит из двух коаксиальных электродов высотой H , диаметром D и d , частично погруженных в жидкость с

диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{ж}$ на величину h . Электрическая емкость C цилиндрического конденсатора определяется выражением:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon H}{\ln \frac{D}{d}} \quad (6)$$

где ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего межэлектродное пространство; ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума.

С учетом выражения (6) полную емкость чувствительного элемента можно представить в виде:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_B(H-h)}{\ln \frac{D}{d}} - \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_{ж}h}{\ln \frac{D}{d}}, \quad (7)$$

где ϵ_B – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха, равная 1; $\epsilon_{ж}$ – относительная диэлектрическая проницаемость жидкости.

После преобразования выражения (7) можно получить уравнение статической характеристики емкостного чувствительного элемента для неэлектропроводных сред. Для измерения уровня электропроводных жидкостей применяют уровнемеры, у которых металлические электроды изолируют фторопластом. Промышленностью выпускаются емкостные уровнемеры, минимальный диапазон измерений которых составляет 0...0,4 м, а максимальный 0...20 м. Разработаны емкостные уровнемеры для сыпучих сред. Верхние пределы измерений таких уровнемеров ограничены значениями 4...20 м.

Задача 4. Определить емкость уровнемера при пустом и полностью заполненном баке и уровень жидкости в баке h , когда емкость уровнемера равна C . Внутренний диаметр уровнемера d , внешний диаметр - D , полная высота H , относительная диэлектрическая проницаемость жидкости равна $\epsilon_{ж}$.

Таблица 5

Значения параметров к задаче 4

№ варианта	Параметры				
	d , мм	D , мм	H , м	$\epsilon_{ж}$	C , пФ
1, 21, 41, 61, 81	20	25	1,5	4,7	950
2, 22, 42, 62, 82	15	20	1,0	3,5	400
3, 23, 43, 63, 83	15	25	1,5	2,7	300
4, 24, 44, 64, 84	10	20	1,0	4,7	250
5, 25, 45, 65, 85	20	25	1,2	3,5	700
6, 26, 46, 66, 86	15	20	1,3	2,7	500
7, 27, 47, 67, 87	15	25	1,0	4,7	400
8, 28, 48, 68, 88	10	20	1,2	3,5	250
9, 29, 49, 69, 89	20	25	1,3	2,7	600

10, 30, 50, 70,80	20	30	1,5	4,7	950
11, 31, 51, 71, 91	20	25	1,0	2,8	600
12, 32, 52, 72, 92	15	20	1,5	2,9	250
13, 33, 53, 73, 93	15	25	1,0	3,0	200
14, 34, 54, 74, 94	10	20	1,2	3,3	250
15, 35, 55, 75, 95	20	25	1,3	3,2	300
16, 36, 56, 76, 96	15	20	1,0	3,5	250
17, 37, 57, 77, 97	15	25	1,5	3,6	400
18, 38, 58, 78, 98	10	20	1,0	3,7	250
19, 39, 59, 79, 99	20	25	1,2	3,8	500
20, 40, 60, 80, 100	20	30	1,3	4,0	600

5. Термоэлектрические преобразователи

Термоэлектрические преобразователи, или термопары, применяются для измерения температуры. Принцип действия термопар поясняется рисунком 5, на котором изображена термоэлектрическая цепь из двух разнородных проводников А и В.

Точки 1 и 2 соединения проводников называются спаями термопары. Если температуры спаев 1 и 2 одинаковы, то ток в термоэлектрической цепи отсутствует. Если же температура одного из спаев, например спая 1, выше, чем температура спая 2, то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила (термоЭДС) E , зависящая от разности температур спаев

$$E = f(t_1 - t_2). \quad (8)$$

Если температуру спая 2 поддерживать постоянной, то $E = f(t_1)$.

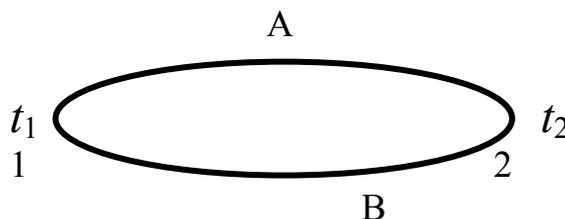


Рис.5. Термоэлектрический преобразователь

Эту зависимость используют для измерения температуры с помощью термопар. Для измерения термоЭДС электроизмерительный прибор включают в спай 2 в соответствии с рис. 6.

Спай 1 называют горячим (рабочим), а спай 2 – холодным (концы 2 и 2¹ называют свободными концами).

Чтобы ТЭДС термопары однозначно определялась температурой горячего спаев, необходимо температуру холодного спаев поддерживать всегда

одинаковой. Для изготовления электродов термопар используют как чистые металлы, так и специальные сплавы стандартного состава.

Градуировочные таблицы, то есть соответствие термоЭДС температуре, для стандартных термопар составлены при условии равенства температуры свободных концов 0°C . На практике не всегда удается поддерживать эту температуру. В таких случаях в показания термопары вводят поправку на температуру свободных концов. Существуют схемы для автоматического введения поправки.

Конструктивно термопары выполняют в виде изолированных термоэлектродов с рабочим спаем, получаемым сваркой. Термоэлектроды помещают в защитную арматуру, предохраняющую термопару от внешних механических воздействий. Рабочие концы выводят в головку термопары, снабженную зажимами для включения в электрическую цепь.

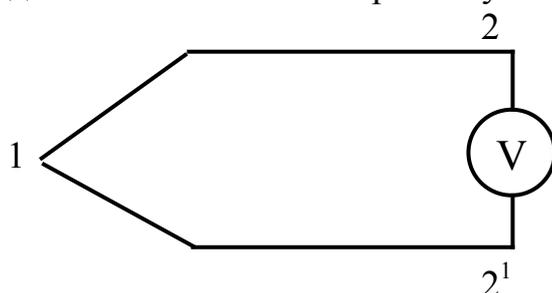


Рис.6. Термоэлектрическая цепь

В табл. 6 приведены характеристики промышленно выпускаемых термопар.

Таблица 6

Характеристики термопар

Термопара	Обозначение	Диапазон измеряемых температур, $^{\circ}\text{C}$
Медь-копель	МК	-200...100
Хромель-копель	ХК	-200...600
Хромель-алюмель	ХА	-200...1000
Платинородий(10%Rh)-платина	ПП	0...1300
Платинородий(30%Rh)-платинородий(6%Rh)	ПР	300...1600
Вольфрамрений (5%Re) – вольфрамрений (20%Re)	ВР	0...2200

Задача 5. Какое напряжение будет показывать милливольтметр, подключенный к хромель-алюмелевой термопаре, при измерении температуры t_2 , если свободные концы термопары не скомпенсированы и имеют температуру t_1 . Изменение термоЭДС термопары ТХА в диапазоне от 0 до 100°C равно 4 мкВ на 1°C .

Значения температур t_1 и t_2 по вариантам даны в табл. 7.

Значения температур t_1 и t_2

№ варианта	Температура		Номер варианта	Температура	
	t_1	t_2		t_1	t_2
1, 21, 41, 61, 81	25	1200	11, 31, 51, 71, 91	70	800
2, 22, 42, 62, 82	30	1000	12, 32, 52, 72, 92	65	1000
3, 23, 43, 63, 83	35	800	13, 33, 53, 73, 93	60	1200
4, 24, 44, 64, 84	40	600	14, 34, 54, 74, 94	55	500
5, 25, 45, 65, 85	45	500	15, 35, 55, 75, 95	50	600
6, 26, 46, 66, 86	50	1200	16, 36, 56, 76, 96	45	800
7, 27, 47, 67, 87	55	1000	17, 37, 57, 77, 97	40	1000
8, 28, 48, 68, 88	60	800	18, 38, 58, 78, 98	35	1200
9, 29, 49, 69, 89	65	600	19, 39, 59, 79, 99	30	500
10, 30, 50, 70, 80	70	500	20, 40, 60, 80, 100	25	600

6. Виды упругих элементов и области их использования

Типичным преобразователем механического сигнала является упругий элемент, который входит практически во все датчики силы, давления, ускорения. Входной величиной упругого элемента является сила или давление, а выходной - перемещение (прогиб) характерных точек или деформация, то есть смещение точек, лежащих на поверхности.

Упругие элементы как преобразователи механического сигнала целесообразно разделять на преобразователи «сила-деформация», «сила-перемещение», «давление-перемещение» и «давление деформация». Такое деление упругих элементов определяет чувствительность преобразователя, его конструктивное оформление, а также метод предыдущего и последующего преобразования. Например, если выходной величиной упругого элемента является деформация, то это предполагает дальнейшее использование тензорезисторных преобразователей; если перемещение - то индуктивных, емкостных и т.п.

К преобразователям силы относятся упругие элементы в виде сплошных и полых стержней, колец, балок постоянного сечения и равного сопротивления. Из этих упругих элементов наибольшее распространение получили стержни. Они подходят на высокие пределы при ограниченных размерах и массе датчика. Более чувствительны к силе кольцевые и балочные упругие элементы. Последние более технологичны и позволяют получить большие перемещения, имеют зоны равных деформаций с противоположными знаками.

К упругим элементам, преобразующим давление в деформацию, перемещение или силу, относятся плоские и гофрированные мембраны, мембраны жестким центром, трубчатые пружины и сильфоны.

Плоской мембраной называется пластинка круглой формы, способная деформироваться под действием давления. Во многих манометрических приборах мембраны служат для преобразования давления в перемещение или в усилие. С помощью мембран можно измерять давление от нескольких миллиметров ртутного столба до сотен атмосфер. Плоская мембрана может быть представлена как круглая пластинка радиуса R и толщиной h , защемленная по контуру и нагруженная давлением P , как показано на рис. 7.

Упругая характеристика плоской мембраны - это зависимость между перемещением ее центра x и действующим на нее давлением P . Уравнение упругой характеристики плоской мембраны радиуса R и толщины h , нагруженной давлением P принято записывать в безразмерной форме

$$PR^4/Eh^4 = 16x/3(1-\mu^2)h + (7-\mu)x^3/3(1-\mu)h^3, \quad (9)$$

где μ - коэффициент Пуассона, равный 0,3; E - модуль упругости материала мембраны.

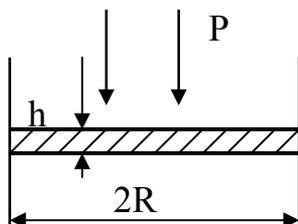


Рис.7. Плоская мембрана

Характеристика имеет в общем виде нелинейный характер, как показано на рис. 8. Однако эта зависимость близка к линейной при малых перемещениях x , когда выполняется условие $x < h$.

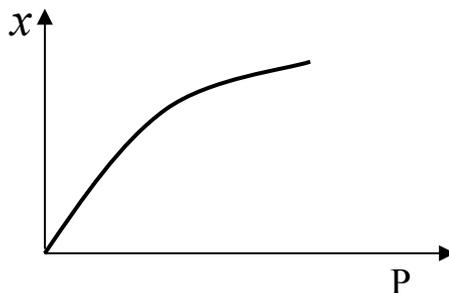


Рис. 8

Задача 6. Построить упругую характеристику плоской мембраны радиуса R и толщиной h . Материал, модуль упругости E и размеры мембраны по вариантам даны в табл. 8.

Значения параметров к задаче 6

№ варианта	R , мм	h , мм	Материал	E , МПа
1, 21,41, 61,81	25	0,2	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
2, 22, 42, 62, 82	30	0,3	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
3, 23, 43, 63, 83	35	0,4	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
4, 24, 44, 64, 84	40	0,5	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
5, 25, 45, 65, 85	45	0,6	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
6, 26, 46, 66, 86	50	0,7	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
7, 27, 47, 67, 87	25	0,3	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
8, 28, 48, 68, 88	30	0,4	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
9,29, 49, 69, 89	35	0,5	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
10, 30, 50, 70,80	40	0,6	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
11, 31, 51, 71, 91	35	0,4	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
12, 32, 52, 72, 92	40	0,5	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
13, 33, 53, 73, 93	45	0,6	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
14, 34, 54, 74, 94	50	0,7	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
15, 35, 55, 75, 95	25	0,3	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
16, 36, 56, 76, 96	50	0,7	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
17, 37, 57, 77, 97	25	0,3	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
18, 38, 58, 78, 98	30	0,4	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$
19, 39, 59, 79, 99	25	0,2	36НХТЮ	$2 \cdot 10^5$
20, 40, 60, 80, 100	30	0,3	Бр.Б2	$13,5 \cdot 10^4$

7. Порядок выполнения задания

1. Номер варианта заданий выбираются по двум последним цифрам номера зачетной книжки.

2. При выполнении задания п.1 нужно знать аналитическое выражение пьезоэффекта по выражению (1). Напряжение между обкладками пьезоэлемента U , В, равно

$$U=Q/C, \quad (10)$$

где Q – заряд, Кл; C – емкость пьезоэлемента, Ф.

Емкость пьезоэлемента рассчитывается как емкость плоского конденсатора:

$$C=\varepsilon_0\varepsilon_n S/h, \quad (11)$$

где ϵ_0 - диэлектрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85$ пФ/м; ϵ_n - относительная диэлектрическая проницаемость пьезоэлемента; S - площадь обкладок, м²; h - расстояние между обкладками, м.

Пьезомодуль d , относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_n кварца SiO₂, титаната бария BaTiO₃ и керамики ЦТС приведены в таблице 9.

Таблица 9

Характеристики пьезокристаллов

Параметры	SiO ₂	BaTiO ₃	ЦТС
$d, *10^{-12}$ Кл/Н	2,3	70	200
ϵ_n	4,5	1700	1380

3. Для выполнения задания п.2 необходимо знать основную характеристику тензоэффекта – относительный коэффициент тензочувствительности S_T , по определению равный отношению относительного изменения сопротивления ϵ_R при относительной деформации ϵ_l в соответствии с формулой (3). Для константана $S_T=2$.

4. В задании п.3 электрическая схема включения медного термометра сопротивления имеет вид, показанный на рисунке 9.

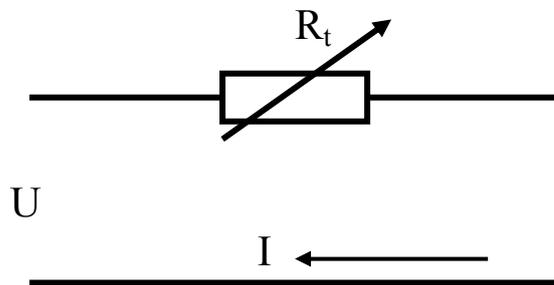


Рис. 9

Ток в цепи I , А, определяется по закону Ома

$$I = U / R_t$$

где U – напряжение питания цепи, В; R_t – сопротивление медного термометра сопротивления, Ом.

Сопротивление медного термометра сопротивления R_t зависит от измеряемой температуры в соответствии с уравнением (4).

4. В задании п.4 рассматривается емкостной уровнемер с коаксиальными электродами, емкость C , пФ, которого определяется по формуле (7).

Диэлектрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85$ пФ/м. Из этой формулы следует выразить уровень жидкости h и найти его значение.

5. При выполнении задания п.5 следует помнить, что развиваемая термопарой термоЭДС зависит от разницы температур горячего спая t_2 и свободных концов t_1 . Эта зависимость в широком диапазоне температур нелинейная, но от 0 до 100°C ее можно считать линейной. Градуировочная характеристика термопары ТХА дана в табл. 10.

Таблица 10

Градуировочная характеристика термопары ТХА

$t, ^\circ\text{C}$	500	600	800	1000	1200
ТермоЭДС, мВ	20,65	24,91	33,32	41,26	48,87

6. В задании п.6 упругая характеристика плоской мембраны - это зависимость между перемещением ее центра x и действующим на нее давлением P . Уравнение упругой характеристики плоской мембраны радиуса R и толщины h , нагруженной давлением P представлено выражением (9).

Для построения упругой характеристики необходимо задаваться перемещением x от 0 до 2 мм и для них считать давление P . Характеристику построить по 10 точкам.

Допускаемое давление, при котором механические напряжения в месте жесткой заделки мембраны не превышают предел упругости материала мембраны, определяется по формуле

$$P_{\text{доп}} = 1,5h^2 \sigma_{\text{доп}} / R^2,$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ - предел упругости материала мембраны.

Список литературы

1. Информационно-измерительная техника и электроника: Учебник для вузов / Под ред. Г.Г. Раннева.-М.: Академия, 2006. - 511с.

2. . Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: Учебник для студентов вузов. – М.: Академия, 2004. - 311с.

3. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов / Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф.Папуловский, В.Н. Скуров: Под ред. Н.Н. Евтихьева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. - 352 с.

4. Информационно-измерительная техника и технологии: Учебник для вузов / Под ред. Г.Г. Раннева.- М.: Высшая школа, 2002.

Кузнецов Виктор Павлович

Измерительные преобразователи

Методические указания
к выполнению контрольного задания по курсу
«Технические измерения и приборы» для студентов заочной формы обучения
специальности 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и
производств (в машиностроении)»

Авторская редакция

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл. печ. л. 1,25	Уч.-изд. л. 1,25
Заказ	Тираж 20	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.