



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к лабораторной работе

«Исследование динамических свойств термодатчика»

Авторы
Мартынов В.В.,
Череватенко В.А.



Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

Исследуется устройство измерения температуры на основе термопары и полупроводникового терморезистора. Экспериментально определяются переходные характеристики термопары и терморезистора, основные параметры переходных процессов их нагрева, значения динамических погрешностей; производится сравнение теоретических и экспериментальных переходных характеристик.

Для студентов дневной формы, обучающихся по направлению 221000 «Мехатроника и робототехника» подготовки бакалавров, профили «Мехатроника» и «Роботы и робототехнические системы».

Компьютерная обработка:
студент Д.А. Касьянов

Авторы

к.т.н., доцент В.В. Мартынов
доцент В.А. Череватенко





Оглавление

1. Цель работы.....	4
2. Динамический режим работы измерителя температуры	5
3. Описание лабораторного стенда	8
4. Программа работы	10
5. Обработка результатов измерений.....	11
6. Содержание отчета	12
7. Вопросы для самопроверки.....	13
Литература.....	14



1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с различными режимами работы датчика температуры, его характеристиками и параметрами. Экспериментальное определение характеристики переходного процесса в датчике при единичном ступенчатом воздействии на его входе, а также параметров, характеризующих его динамические свойства.



2. ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура является одним из наиболее часто измеряемых параметров в мехатронных системах, медицине, промышленности и в быту. В качестве датчиков температуры используются термопары, полупроводниковые терморезисторы, термометры сопротивления, термометры на основе расширяющегося рабочего тела, оптические пирометры и т. п.

Измерение температуры может выполняться в статическом и динамическом режимах. В последнем случае появляется динамическая погрешность, вызванная инерционностью датчика.

Если датчик, первоначально нагретый до температуры окружающей среды T_H , мгновенно поместить внутрь объекта, нагретого до температуры T_K (т. е. подать на вход датчика скачек температуры $\Delta T = T_K - T_H$), то из-за инерционности тепловых процессов в датчике его температура T_D будет изменяться постепенно. Процесс нагрева датчика можно описать линейным дифференциальным уравнением 1-го порядка. Решение этого уравнения имеет вид

$$T_D = T_H + \Delta T(1 - e^{-t/\tau}) = T_K - \Delta T e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

где t – текущее время, τ – постоянная времени процесса нагрева датчика.

На рисунке 1 показан переходный процесс установления температуры датчика, соответствующий формуле (1).

Постоянная времени τ определяется временем, за которое температура

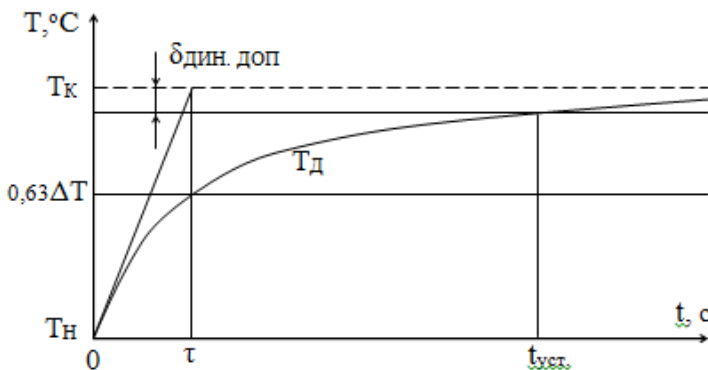


Рис.1. Определение времени установления переходного процесса



Исследование динамических свойств термодатчика

датчика изменяется на величину, равную 63% от первоначальной разности температур ΔT . Графически постоянную времени τ можно определить, построив касательную к экспоненте в точке $(0, T_n)$. Перпендикуляр, опущенный из точки пересечения этой касательной с линией $T=T_k$, отметит на оси t промежуток времени как раз равный τ . Чем меньше постоянная времени τ , тем быстрее будет нагреваться датчик.

В процессе нагрева мгновенное значение разности между установившейся температурой T_k и текущей температурой датчика T_d будет являться абсолютной динамической погрешностью $\delta_{\text{дин}}$ датчика:

$$\delta_{\text{дин}} = T_k - T_d = \Delta T e^{-t/\tau}. \quad (2)$$

В первый момент времени (при $t=0$) динамическая погрешность максимальна и равна ΔT , но с течением времени стремится к нулю. Если в выражении (2) выбрать произвольно два момента времени, отстоящие друг от друга на промежуток времени τ , то значения динамической погрешности датчика для этих моментов будут соответственно равны $\Delta T e^{-t/\tau}$ и $\Delta T e^{-(t+\tau)/\tau}$, а их отношение равно $e^{-(t+\tau)/\tau} / e^{-t/\tau} = e^{-1}$, следовательно, за промежуток времени τ величина $\delta_{\text{дин}}$ изменяется в e раз. Графически это свойство экспоненты проявляется в том, что касательная к ней в любой точке пересекает установившееся значение в точке, отстоящей по времени от точки касания на величину τ .

Хотя, как следует из уравнения (1), температура датчика становится равной температуре контролируемого объекта ($T_d = T_k$) лишь при $t = \infty$, измерения температуры (как и любые другие измерения), должны выполняться за конечный промежуток времени. При этом приходится мириться с неизбежной в таких случаях динамической погрешностью. Поэтому в большинстве случаев считают, что через интервал времени, равный $(3...5)\tau$, наступает квазиравновесное состояние ($T_d \approx T_k$) и динамическая погрешность снижается до приемлемого уровня. Например, в момент времени $t = 3\tau$

$$\delta_{\text{дин}}(3\tau) = \Delta T e^{-3\tau/\tau} = \Delta T e^{-3} \approx 0,05 \Delta T,$$

т. е. разность температур датчика и объекта будет составлять 5% от ΔT , при $t = 5\tau$ $\delta_{\text{дин}} = 0,7\%$ от ΔT , а при $t = 10\tau$ - лишь 0,005% от ΔT .

Если значение допустимой динамической погрешности $\delta_{\text{дин}}$ нам задано, то для конкретного средства



Исследование динамических свойств термодатчика

измерения температуры, обладающего известной постоянной времени τ , из выражения (2) можно определить промежуток времени, по истечении которого $\delta_{\text{дин}}$ станет равной $\delta_{\text{дин. доп}}$. Это и будет минимальное время, которое нам необходимо затратить для получения результата измерения с заданной погрешностью. Оно носит название «время преобразования» $t_{\text{пр}}$ средства измерения.

Прологарифмировав выражение (2) и разрешив его относительно параметра t , получим

$$t_{\text{пр}} = -\tau \cdot \ln[(\delta_{\text{дин. доп}})/\Delta T]. \quad (3)$$

(Следует помнить, что в полученном выражении $\delta_{\text{дин. доп}}$ является абсолютной погрешностью, поэтому для получения соответствующей относительной погрешности, приведенной к ΔT , ее необходимо разделить на ΔT).

Например, при $\delta_{\text{дин. доп}} = 1\% \Delta T$ и $\tau = 10$ с

$$t_{\text{пр}} = -10 \cdot \ln[(0,01\Delta T)/\Delta T] = -10 \cdot \ln(0,01) \approx -10 \cdot (-4,6) = 46 \text{ с.}$$



3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Внутри теплоизоляционной оболочки 1 (рисунок 2) расположены электронагреватель 2 и два датчика температуры: термопара цифрового термометра 3 и терморезистор 4. Электронные блоки 5 и 6 обрабатывают информацию от датчиков и выводят значения температур термопары и терморезистора соответственно на дисплеи 7 и 8. Для контроля температуры окружающей среды служит спиртовой термометр 9.

В настоящей работе исследуются динамические свойства термопары и полупроводникового терморезистора ММТ-4 прямого подогрева с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС).

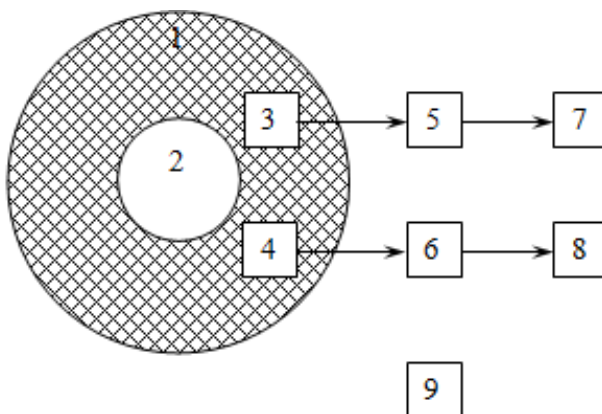


Рис.2.Схема лабораторного стенда

Внешний вид и габаритные размеры терморезистора показаны на рисунке 3. Такие терморезисторы предназначены для работы в цепях постоянного, пульсирующего и переменного тока частотой до 400 Гц для измерения и регулирования температуры, а также для температурной компенсации элементов электрической цепи с положительным ТКС.



Исследование динамических свойств термодатчика

Таблица 1. Основные параметры терморезистора ММТ-4

Масса не более, г	2,5
Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	$1 \times 10^3 - 220 \times 10^3$
Максимальная мощность рассеяния, мВт	560
Температурный коэффициент сопротивления, % /°C	-(2,4-5,0)

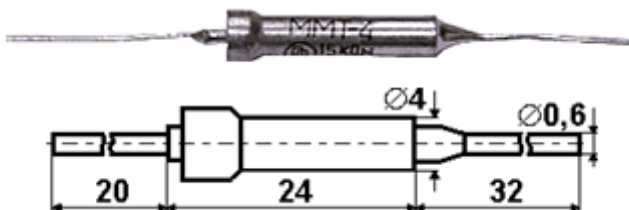


Рис.3. Терморезистор ММТ-4.



4. ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Залить в водонагреватель 2 воду комнатной температуры. Термопару и терморезистор поместить рядом с контрольным термометром 9.

2. Включить питание водонагревателя и электронных блоков 5 и 6. После закипания воды выключить питание водонагревателя.

3. Снять характеристику переходного процесса нагрева термопары и терморезистора при подаче на их входы единичного скачка температуры. Для этого записать в таблицу 2 показания дисплеев 7 и 8, а также показания контрольного термометра 9 (соответствующие комнатной температуре), и быстро вставить термопару 3 и терморезистор 4 в специальные карманы теплоизоляционной оболочки 1, одновременно включив секундомер. Через каждые (20-30) с записывать в таблицу 2 соответствующие друг другу показания секундомера t и дисплеев 7 и 8 до установления показаний обоих дисплеев.

4. Выключить питание электронных блоков 5 и 6.



5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По данным таблицы 2 построить график переходного процесса нагрева термопары, т. е. зависимость показаний дисплея 7 от времени наблюдения. На графике провести горизонтальные линии, соответствующие установившемуся значению температуры датчика ($T=T_K$) и значению температуры $T_d=T_n+0,63\Delta T$. Перпендикуляр, опущенный из точки пересечения линии $T_d=T_n+0,63\Delta T$ с характеристикой переходного процесса, отметит на оси абсцисс отрезок времени, равный постоянной времени τ процесса нагрева термопары.

2. Зная параметры τ и ΔT экспериментально определенной характеристики переходного процесса нагрева термопары, построить на том же графике теоретическую характеристику переходного процесса, обозначить и сравнить их.

3. Определить графически динамическую погрешность, соответствующую заданному преподавателем времени преобразования, и сравнить ее с вычисленной по формуле (2).

4. Повторить пп. 1-3 для терморезистора.

5. Сделать выводы по работе.

Таблица 2. Результаты экспериментального определения характеристики переходного процесса нагрева термопары 7 и терморезистора 8

Измеряемые величины	Значения измеряемых величин при температуре окружающего воздуха $T_9 = ___ ^\circ\text{C}$.									
t, c										
$T_7, ^\circ\text{C}$										
$U_8, \text{В}$										



6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Название работы, номер группы, фамилия и. о. и подпись студента, фамилия и. о. преподавателя, дата выполнения работы, цель работы, типы используемых приборов и оборудования, схема стенда, результаты проведенных исследований в виде таблиц, графиков и т.п., краткие выводы по работе.



7. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие измерительные преобразователи используются для измерения температуры?
2. Каков порядок дифференциального уравнения, описывающего тепловые процессы?
3. Что такое статический и динамический режимы работы датчика?
4. Что такое динамическая погрешность? Что такое абсолютная и относительная динамическая погрешность?
5. Что такое время преобразования?
6. Как определить время преобразования по графику переходного процесса?
7. Что такое постоянная времени переходного процесса?
8. Как графически определяется величина τ ?
9. Во сколько раз уменьшается величина динамической погрешности при апериодическом переходном процессе за время, равное τ ?
10. Как аналитически определить время преобразования по заданному значению динамической погрешности?
11. Скольким τ должно быть равно время измерения, чтобы на практике динамической погрешностью можно было пренебречь?
12. Какими причинами могут быть обусловлены отличия экспериментальной и теоретической характеристик переходного процесса?
13. Почему перед правой частью выражения для $t_{пр}$ (формула (3)) стоит минус, разве время может быть отрицательным?
14. Как построить характеристику переходного процесса нагрева терморезистора, зная τ и ΔT ?



ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов, М.С. Теория и расчет измерительных преобразователей: учеб. пособие / М. С. Степанов, А. Ф. Хлебунов; ДГТУ. - Ростов н/Д : ИЦ ДГТУ, 2013.

2. Раннев, Г.Г. Измерительные информационные системы: учеб. для вузов / Г. Г. Раннев. - М. : ACADEMIA, 2010.