

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ

Сю Шуайкай, Бордулев Ю.С.

Научный руководитель: Бордулев Ю.С., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: 1522773480@qq.com

В настоящее время системы термостатирования (СТ) находят широкое применение как в производственной, так и в научной сфере. Хорошо известно, что удельное сопротивление металла изменяется при изменении его температуры [1]. Таким образом, при проведении прецизионных измерений электросопротивления металлов, для получения стабильных результатов, необходимо поддерживать постоянную температуру образцов. Также, применение точной СТ позволяет проводить исследования температурного коэффициента сопротивления образцов.

Исходя из этого, целью данной работы является разработка СТ образцов для комплекса по измерению электросопротивления металлов и сплавов. Для достижения, поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

- сконструировать систему, обеспечивающую контроль и поддержание температуры;
- реализовать и настроить автоматический регулятор температуры.

Обобщенная структурная схема СТ показана на рис. 1 [2].

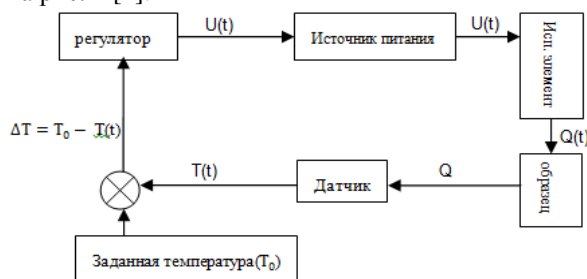


Рис. 1. Структурная схема СТ

В начале цикла регулирования, пользователь задает значение температуры статирования (T_0), после чего происходит процедура вычисления рассогласования между этим значением и значением реальной температуры образца:

$$\Delta T = T_0 - T(t)$$

Далее, при помощи автоматического регулятора вычисляется значение выходного напряжения, подаваемого через источник питания на исполнительный элемент. Исполнительный элемент, воздействуя на объект термостатирования, изменяет значение его температуры. После того, как датчик температуры измерит текущее значение $T(t)$, цикл повторяется [2].

В данной работе применен источник питания, способный выдавать значение напряжения от 0 до 8 В. В качестве исполнительного элемента в данной работе был выбран элемент Пельтье из-за

его небольших размеров, отсутствия каких-либо движущихся частей, а также газов и жидкостей. В качестве датчика температуры был использован термометр сопротивления РТ100 в комплекте с универсальным вольтметром, позволяющий производить измерения температуры с погрешностью 0,1 °С.

Среди используемых автоматических регуляторов, наиболее популярными являются: двухпозиционные (2П), пропорциональные (П), пропорционально-интегральные (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы. В данной работе были разработаны все 4 типа регуляторов с целью сравнения их рабочих характеристик, таких как: перерегулирование (T_p), ошибка регулирования (E), погрешность колебания (Δ) и время регулирования (t_p) (рис. 2) [3].

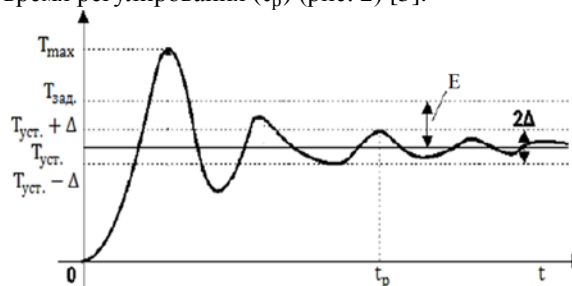


Рис. 2 Определение показателей качества по переходной характеристике.

$$\text{Здесь } T_p = \frac{T_{max} - T_{уст.}}{T_{уст.}} \cdot 100\%; E = T_{зад} - T_{уст.}.$$

Принцип работы 2-позиционного регулятора заключен в его названии. Если разность температуры $\Delta T > 0$, на объект регулирования не подается никакого воздействия. В ситуации, если $\Delta T < 0$, то на объект подается воздействие U_0 [3]. В данной работе значение U_0 , подаваемого на исполнительный элемент, составило 7 В.

Алгоритм расчета выходного значения напряжения П-, ПИ- и ПИД- регуляторами можно описать следующей формулой [3]:

$$u[n] = u[n-1] + a_0 e[n] - a_1 e[n-1] + a_2 e[n-2], \quad (1)$$

где u - выходная величина напряжения, выдаваемого регулятором; e - сигнал рассогласования реальной и заданной температуры. Для расчета выходного значения регулятора используются значения u и e из текущего ($e[n]$) и предыдущих циклов ($n-1$; $n-2$).

Коэффициенты a_0 , a_1 и a_2 могут быть выражены следующими соотношениями:

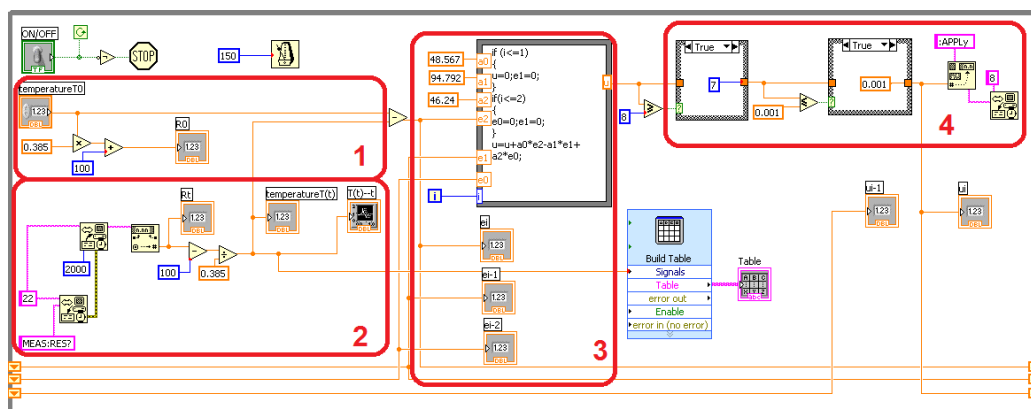


Рис. 3. Блок-диаграмма программы LabVIEW, реализующей работу автоматического регулятора.

$$a_0 = K_{\Pi} \left(1 + \frac{T}{T_{\text{И}}} + \frac{T_{\text{Д}}}{T} \right); a_1 = K_{\Pi} \left(1 + \frac{2T_{\text{Д}}}{T} \right);$$

$$a_2 = K_{\Pi} \frac{T_{\text{Д}}}{T},$$

где K_{Π} - коэффициент пропорциональной части регулятора, $T_{\text{И}}$ - постоянная времени интегрирования, $T_{\text{Д}}$ - постоянная времени дифференцирования. Значения $T_{\text{И}}$, $T_{\text{Д}}$ для П-регулятора, а также $T_{\text{Д}}$ для ПИ-регулятора равны 0.

Используя формулу (1) в данной работе были реализованы алгоритмы вышеописанных регуляторов с применением программного обеспечения LabVIEW. Настойка регуляторов (определение параметров a_0 , a_1 , a_2) осуществлялась методом, подробно описанным в [4].

С целью выбора оптимального регулятора был проведен анализ рабочих характеристик разработанных регуляторов при различных температурах регулирования. Средние значения параметров регуляторов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения показателей регулирования для различных типов автоматических регуляторов

Регулятор	Δ , °C	$ E $, °C	$T_{\text{п}}$, %	$t_{\text{р}}$, сек.
2П	± 0.384	0.174	0.954	38.790
П	± 0.235	0.245	1.086	49.50
ПИ	± 0.003	0.003	0.015	89.76
ПИД	± 0.002	0.001	0.028	139.59

Среди приведенных показателей регуляторов, наиболее важными в нашем случае являются ошибка регулирования E и погрешность колебания Δ . Из таблицы видно, что двухпозиционный регулятор и П-регулятор имеют наибольшую погрешность колебания Δ и ошибку регулирования по сравнению с ПИ- и ПИД-регуляторами. ПИД-регулятор имеет самую низкую погрешность колебания. Ошибка регулирования ПИ- и ПИД-регулятора сравнимы и близки к 0. Однако величина перерегулирования $T_{\text{п}}$ и время регулирования $t_{\text{р}}$ ПИ-регулятора несколько меньше значений для ПИД-регулятора. Это является следствием сложности алгоритма и

настройки ПИД-регулятора по сравнению с ПИ-регулятором (необходимо настраивать три параметра регулирования, вместо двух). Из всего вышесказанного, было принято решение выбора ПИД-регулятора для создания СТ в данной работе.

С учетом собственной погрешности термометра, общую погрешность можно рассчитать по формуле: $\Delta_{\text{общ}} = \pm \sqrt{\Delta^2 + 0.1^2} = \pm \sqrt{(\pm 0.001681)^2 + 0.1^2} = \pm 0.100014^\circ\text{C}$ [5].

Блок-диаграмма разработанного ПИД-регулятора состоит из нескольких функциональных модулей (Рис. 3): 1 – определение температуры регулирования; 2 – определение реальной температуры образца; 3 – реализация алгоритма ПИД-регулятора; 4- вывод значения напряжения на источник питания.

Основные выводы

В результате данной работы была разработана и реализована система прецизионного термостатирования образцов с применением автоматического ПИД-регулятора. Система позволяет регулировать постоянную температуру образца с погрешностью 0.100014°C . Диапазон регулируемой температуры составляет $20-80^\circ\text{C}$.

Список литературы

1. П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. Физика твердого тела : учебник . — 3-е изд., стереотип. — М. : Высшая школа, 2000. — 494 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1975.
3. Клиначев Н. В. Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. - Offline версия. - http://vissim.nm.ru/tau_lec.html, - Челябинск, 2003.
4. Настройка параметров ПИД-регулятора. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.contravt.ru/?id=345>, свободный. – Загл. с экрана;
5. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений.– Л.: Энергоатомиздат, 1985.