

DOI: 10.12731/2306-1561-2013-4-18

STUDY OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THERMOELECTRIC OBJECT

Nikolaev A.B., Ni Zaw

Abstract

Thermoelectric phenomena - a collection of physical phenomena, which include three reversible thermoelectric effects: the Seebeck, Peltier and Thomson. These effects are associated with mutual conversion of heat energy into electric current in metals and semiconductors. Currently widely adopted the so-called thermoelectric effects in semiconductor technology based on the use of the Peltier effect. The essence of the Peltier effect is the conversion of the potential difference in the temperature difference. In this paper, we study the automatic control system (ACS) in a thermoelectric object.

***Keywords:** thermoelectric facility, the regulatory system, the transfer function, the perturbation, the transition process.*

УДК 681.518

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Николаев А.Б., Ни Зо

Аннотация

Термоэлектрические явления - это совокупность физических явлений, к числу которых относятся три обратимых термоэлектрических эффекта: Зеебека, Пельтье и Томсона. Эти эффекты связаны с взаимным превращением тепловой энергии в энергию электрического тока в металлах и полупроводниках. В настоящее время широкое применение получили так называемые термоэлектрические эффекты в полупроводниковой технике, основанные на использовании эффекта Пельтье. Суть эффекта Пельтье заключается в преобразовании разности потенциалов в разность температур. В данной статье проводится исследование системы автоматического управления (САУ) таким термоэлектрическим объектом.

***Ключевые слова:** термоэлектрический объект, система регулирования, передаточная функция, возмущение, переходной процесс.*

Математическое описание системы автоматического управления термоэлектрическим объектом

Для анализа и синтеза системы автоматического управления (САУ) необходимо иметь математическое описание объекта управления. Аналитическое определение динамических свойств объекта управления по конструктивным и физическим данным часто является сложной задачей. В таких случаях обращаются к идентификации объекта по экспериментальным данным [1, 4, 5]. В данной статье проведена идентификация объекта по временным характеристикам, а именно, по реакции объекта на скачкообразный входной сигнал $h(t)$. Обработка исходных данных эксперимента проводилась с помощью электронной таблицы MS Excel. Результаты расчета в графическом виде представлены на рисунке 1.

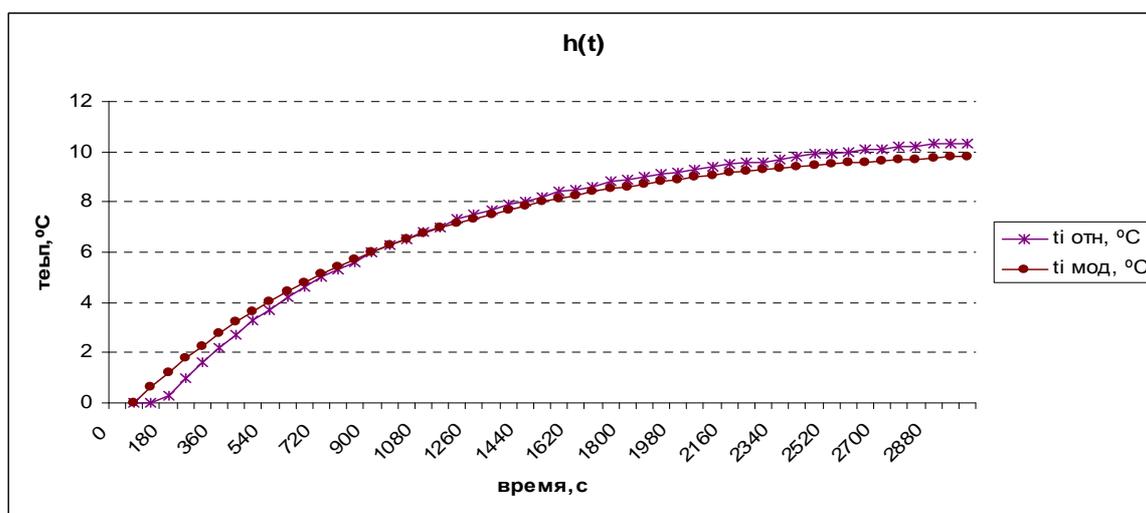


Рисунок 1 - Графическое изображение результатов $h(t)$

Экспериментальные переходные характеристики объекта $h(t)$ с достаточной точностью можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью вида: $h(t) = k_0(1 - \exp(-t/T_0))$, где k_0 – коэффициент передачи, T_0 – постоянная времени объекта.

Такая временная характеристика соответствует линейной математической модели в виде передаточной функции типового аperiodического (инерционного) звена:

$W_0(p) = \frac{K_0}{1 + T_0 p}$ с достаточно большой инерционностью $T_0 = 500 - 2000$, которую можно оценить моментом времени с координатой $h(T_0) = 0.63h_{уст}$, где $h_{уст}$ – установившееся значение $h(t)$ при $t \rightarrow \infty$. По экспериментальным данным определено $K_0 = 10,3$ К/В. Постоянная времени $T_0 = 960$ с (см. рисунок1).

Такая временная характеристика соответствует линейной математической модели в виде передаточной функции типового аperiodического звена. Расхождения между экспериментальными данными $h(t)$ и теоретическими, определенными по модели, не

превышают 3.5%. Полученная модель использована при анализе системы автоматического управления этим объектом.

Микропроцессорная система управления

Для управления современным термическим оборудованием используются микропроцессорные системы управления (МПСУ). Такая система с точки зрения теории автоматического управления представляет собой классическую систему регулирования с контуром отрицательной обратной связи [2]. Структурная схема такой системы представлена на рисунке 2, где блок задания (ЗУ), схема сравнения (СС) и устройство управления (УУ) реализованы программно на однокристальной микро-ЭВМ. Исполнительное устройство (ИУ) и объект управления (ОУ) – это в типовом случае термическое оборудование. (Дт) – это датчик температуры. Передаточная функция разомкнутой такой системы регулирования имеет вид:

$$W(p) = W_{vy}(p) \cdot W_{ny}(p) \cdot W_{oy}(p) \cdot W_{dam}(p) \quad (1)$$

$$\Phi(p) = \frac{W_{np}(p)}{1 + W_{np}(p) \cdot W_{oc}(p)} = \frac{W_{vy}(p) \cdot W_{ny}(p) \cdot W_{oy}(p)}{1 + W_{vy}(p) \cdot W_{ny}(p) \cdot W_{oy}(p) \cdot W_{dam}(p)} \quad (2)$$

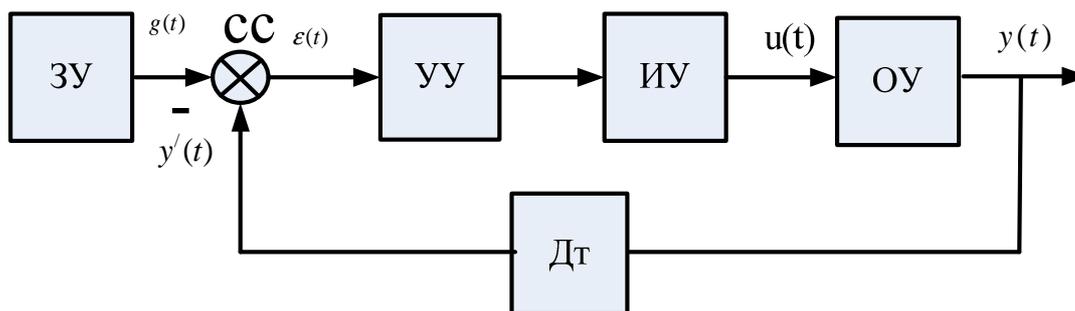


Рисунок 2 - Структурная схема системы управления термическим оборудованием

Математическая модель объекта управления может быть представлена согласно предыдущему пункту типовым апериодическим звеном с передаточной функцией

$$W_{об}(p) = \frac{K_o}{1 + T_o \cdot p}$$

с указанными параметрами K_o и T_o . Датчик температуры также может быть представлен апериодическим звеном, но с малой инерционностью порядка $T_{дат} \approx 20$ с для терморезисторов и $T_{дат} \approx 2$ с для термопар. Передаточная функция регулятора в случае использования классических линейных законов регулирования имеет вид [3]:

Для П-закона

$$W(p) = \frac{K_l \cdot K}{(1 + T_o \cdot p) \cdot (1 + T_{дат} \cdot p)} \quad (3)$$

Для И-закона

$$W(p) = \frac{K_u \cdot K}{p(1+T_o p)(1+T_{Дам} p)} \quad (4)$$

Для ПИ-закона

$$W(p) = \left(K_{II} + \frac{1}{T_{II} \cdot p} \right) \cdot \frac{K}{(1+T_o \cdot p) \cdot (1+T_{Дам} \cdot p)} \quad (5)$$

Для ПИД-закона

$$W(p) = \left(K_{II} + \frac{1}{T_{II} \cdot p} + T_{Д} \cdot p \right) \cdot \frac{K}{(1+T_o \cdot p) \cdot (1+T_{Дам} \cdot p)} \quad (6)$$

Реализация и экспериментальное исследование

Математическое описание анализируемой системы дает возможность использовать специализированные программные пакеты (ПП) CALLISTO и MODOS при оценке значений оптимальных параметров настройки T_{II} - постоянная времени пропорциональности, T_{II} - постоянная времени интегрирования, $T_{Д}$ - постоянная времени дифференцирования микропроцессорных блоков управления для различных модификаций термических приборов. Рассмотрим схему моделирования системы управления термическим оборудованием с ПИ-законом. По переходной характеристике исследуемой системы определим показатели качества. Результаты компьютерного моделирования системы управления термоэлектрическим объектом показаны на рисунке 3, а переходные процессы в САУ термоэлектрическим объектом с ПИ-регулятором показаны на рисунке 4 (результаты исследования значений $t_p = 47$ с, $\sigma = 1,5\%$, $\varepsilon_{уст} = 0$).

Было проведено исследование влияния типовых возмущений на качество исследуемой САУ. Соответствующая структурная схема САУ показана на рисунке 5. Здесь же приведены основные теоретические соотношения для установившихся ошибок от полезного сигнала $X(t)$ и от возмущений (f_1) и (f_2). В САУ термоэлектрическим объектом возмущения могут быть вызваны изменением температуры окружающей среды, изменением температуры теплопроводности, теплопередачи и теплообменник, несовершенством конструкции термоэлектрического полупроводникового вещества и т.п.

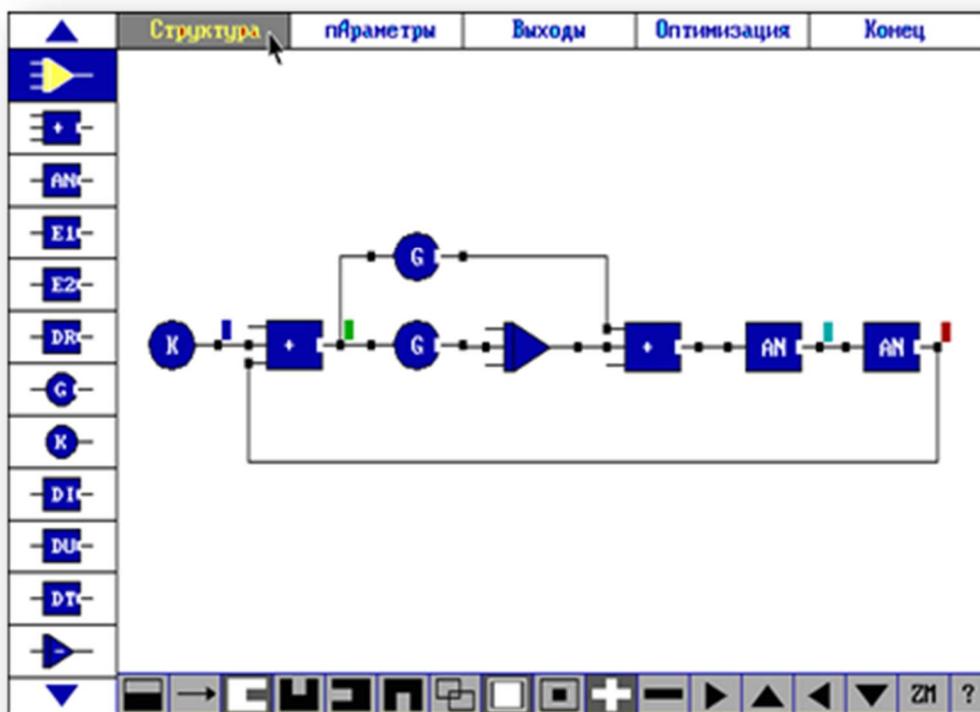


Рисунок 3 - Схема моделирования системы управления термоэлектрическим объектом с ПИ-регулятором

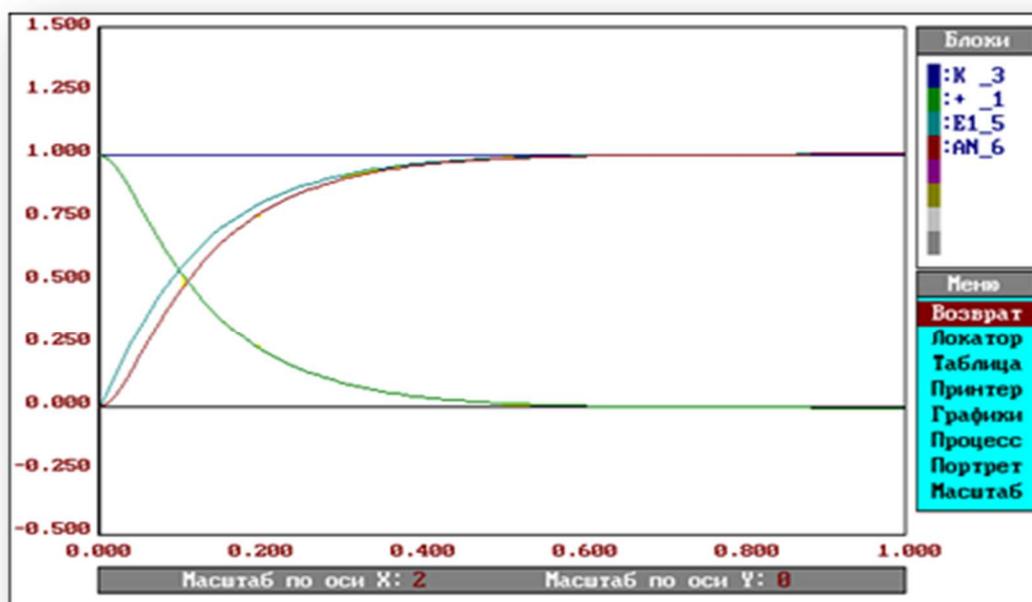


Рисунок 4 - Переходные процессы в САУ термоэлектрическим объектом с ПИ-регулятором

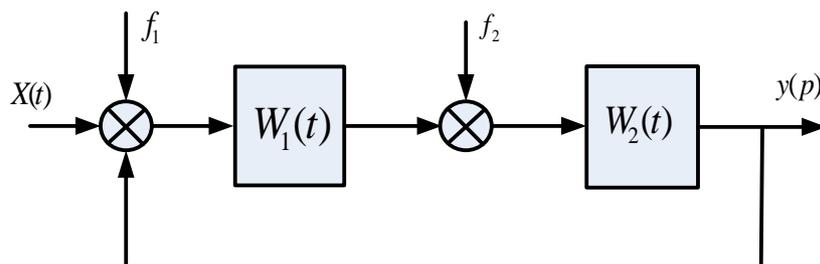


Рисунок 5 - Структурная схема САУ в установившемся режиме в условиях воздействия возмущений

Передаточная функция ошибки от полезного сигнала имеет вид:

$$\Phi_{\text{ex}}(p) = \frac{\varepsilon_x(p)}{x(p)} = \frac{x(p) - y(p)}{x(p)} = 1 - \frac{y(p)}{x(p)} = 1 - \Phi(p) = 1 - \frac{W(p)}{1+W(p)} = \frac{1+W(p) - W(p)}{1+W(p)} = \frac{1}{1+W(p)} \quad (7)$$

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \varepsilon_{\text{хуст}} + \varepsilon_{f_1\text{уст}} + \varepsilon_{f_2\text{уст}}$$

$$\varepsilon_{\text{хуст}} = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot X(p) \cdot \Phi_{\text{ex}}(p)$$

$$\varepsilon_{f_1\text{уст}} = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot f_1(p) \cdot \Phi_{\varepsilon_{f_1}}(p)$$

$$\varepsilon_{f_2\text{уст}} = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot f_2(p) \cdot \Phi_{\varepsilon_{f_2}}(p)$$

Возмущения могут быть детерминированными (определенными во времени) и случайными. Влияние возмущений на качество системы может быть оценено с помощью передаточных функций ошибок. Поскольку в линейных системах справедлив принцип суперпозиции, то мы рассмотрим отдельно оценки ошибок в установившемся режиме. В исследуемой САУ возмущения могут быть приложены как ко входу САУ (f_1), так и ко входу объекта управления (f_2). Рассмотрим их влияние на точность САУ в установившемся режиме при различных законах управления. Схема моделирования САУ для П-закона и ПИ-закона представлены на рисунке 6.

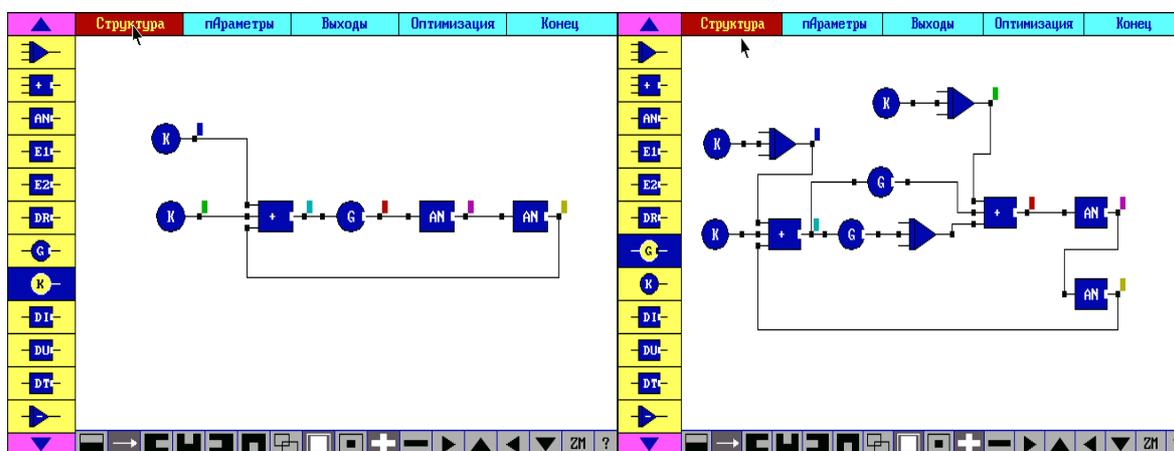


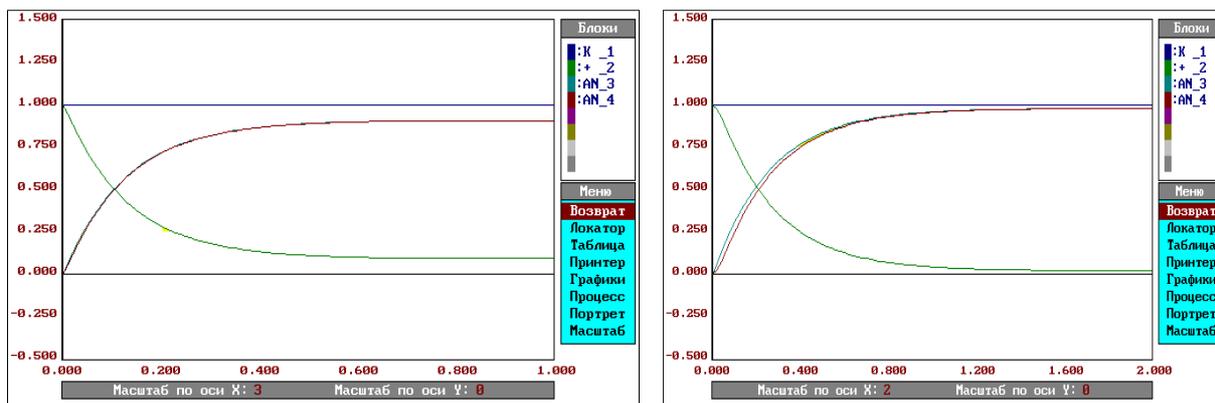
Рисунок 6 - Схемы моделирования системы управления термическим объектом с П и ПИ-законами

Результаты компьютерного моделирования подтвердили теоретический вывод о том, что возмущение $f_2(t) = a_2 t$ входит в общую ошибку $\epsilon_{уст}$, и показали, что такое воздействие на входе САУ дает ошибку, равную a_2 / K_{II} . Полученные результаты по исследованию влияния возмущений на точность САУ представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты исследования влияния возмущений на точность САУ

№	Вид возмущений Тип закона управления	$f_1(t)$		$f_2(t)$	
		$a_2 \cdot 1(t)$	$a_1 \cdot 1(t)$	$a_1 \cdot t$	$a_2 \cdot t$
1	П-закон	$\epsilon_{f1уст} \cong a_1$	$\epsilon_{f1уст} \cong \infty$	$\epsilon_{f2уст} = \frac{a_2}{K_{II}}$	$\epsilon_{f2уст} = \infty$
2	ПИ-закон	$\epsilon_{f1уст} = a_1$	$\epsilon_{f1уст} = \infty$	$\epsilon_{f2уст} = 0$	$\epsilon_{f2уст} = \frac{a_2}{K_{II}}$

Возмущение, действующее на вход ОУ, может оказывать различное влияние на величину суммарной установившейся ошибки в зависимости от закона управления ($\epsilon_{f2уст} = 0$, $\epsilon_{f2уст} = a_2 / K_{II}$, $\epsilon_{f2уст} = \infty$). Таким образом, при анализе САУ с термоэлектрическим объектом необходимо учитывать влияние как f_1 , так и f_2 . При всех практически применимых случаях, когда $\epsilon_{f2уст} \neq \infty$, были исследованы показатели качества переходных процессов при исследуемых вариантах САУ (рисунок 7).



(а)

(б)

Рисунок 7 - Анализ показателей качества переходных процессов САУ

Быстродействие (t_p) и колебательность (σ) при указанных значениях коэффициента усиления практически не отличаются от значений, полученных при отсутствии возмущений в САУ (таблица 2).

Таблица 2 - Значения времени регулирования t_p и перерегулирования σ

	K_c	t_p	σ
График (а)	$10c^{-1}$	$250c$	0%
График (б)	$50c^{-1}$	$60c$	0%

Заключение

Таким образом, возмущение, действующее на вход САУ, оказывает самое существенное влияние на величину суммарной установившейся ошибки при любом законе управления, поэтому желательно свести ее влияние к минимальному, например, компенсировать. Возмущение, действующее на вход ОУ, может оказывать различное влияние на величину суммарной установившейся ошибки зависимости от закона управления (от $\mathcal{E}_{f2уст} = 0$ до $\mathcal{E}_{f2уст} = \infty$, см. таблица 1).

Список информационных источников

- [1] Ромашев А.А., Арефьев Ю.И. Идентификация и оценивание параметров динамических объектов методом тестовых сигналов // Приборы и системы управления. - 1998. - №.8. - С. 18-19.
- [2] Микропроцессорные системы автоматического управления / Под редакцией В.А. Бесекерского. -Л.: Машиностроение, 1988. – 366 с.
- [3] Теория автоматического управления. / Под редакцией А.А. Воронова: в 2-х ч. - М.: Высшая школа, 1986. Ч.1: Теория линейных систем автоматического управления. - 367 с.
- [4] Ни Зо. Использование нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами при производстве полупроводниковых микросхем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2012. – № 2; URL: auts.esrae.ru/2-18 (дата обращения: 02.11.2013).
- [5] Ни Зо, Николаев А.Б. Моделирование полупроводниковых микросхем с использованием термоэлектрического способа // Автоматизация и управление в технических системах. – 2012. – № 2; URL: auts.esrae.ru/2-19 (дата обращения: 02.11.2013).