
УДК 621.314

**А.А. Сытник¹, С.Ю. Протасов¹,
В.А. Тихоход²**, кандидаты техн. наук

¹ Черкасский государственный технологический университет
(Украина, 18006, Черкассы, бул. Шевченко, 460,
тел.: (0472) 730256, e-mail: sytnyk_a@mail.ru, protasov_sergey@mail.ru),

² Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический ин-т» (Украина, 03056, Киев, пр-т Победы, 37,
тел.: (+38 044) 2367989, e-mail: tikhokhod@mail.ru)

Применение измерительных преобразователей неселективного действия в многосвязных системах управления

Рассмотрено использование преобразователей неселективного действия в системах связанного автоматического регулирования. На электромеханической модели с двумя регулируемыми параметрами показана возможность создания точных и устойчивых систем с двумя и более регулируемыми параметрами.

Розглянуто використання перетворювачів неселективної дії в системах зв'язного автоматичного регулювання. На електромеханічній моделі з двома регульованими параметрами показано можливість створення точних і стійких систем з двома і більше регульованими параметрами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: измерительные преобразователи неселективного действия, системы связанного регулирования.

В последнее время в различных областях техники широко применяются системы автоматического регулирования с несколькими регулируемыми параметрами [1]. Одним из основных элементов этого класса систем, отличающегося большим многообразием, являются измерительные преобразователи селективного действия, назначение которых — однозначное селективное преобразование регулируемых параметров в физические параметры, пригодные для восприятия органами регулирования системы [2].

В случае, если $\{x_i\}_{1 \leq i \leq n}$ — регулируемые параметры объекта регулирования, а v_i — выходной параметр i -го измерительного преобразователя, условие селективности действия преобразователя по отношению к параметру x_i можно представить следующим соотношением:

$$\frac{dv_i}{dx_k} = \begin{cases} \varphi_i(x_i), & k = i, \\ 0, & k \neq i. \end{cases} \quad (1)$$

© А.А. Сытник, С.Ю. Протасов, В.А. Тихоход, 2014

Естественно, реализация преобразователей, удовлетворяющих соотношению (1), сопряжена с большими практическими трудностями, так как чувствительные элементы этих преобразователей, размещенные в рабочем пространстве объекта регулирования, находятся под воздействием всех регулируемых параметров объекта. Наряду с этим использование преобразователей селективного действия при реализации систем связанного регулирования приводит к необходимости существенного усложнения конструкции органов регулирования системы. Это свидетельствует о целесообразности изучения возможности реализации систем автоматического регулирования с несколькими регулируемыми параметрами на основе измерительных преобразователей неселективного действия.

Реализация подобных преобразователей, характеризуемых соотношением

$$\frac{dv_i}{dx_k} = \varphi_i(x_i, \dots, x_k, \dots, x_n) \neq 0, \quad 1 \leq k \leq n, \quad (2)$$

в ряде практических случаев сопряжена со значительно меньшими трудностями, чем реализация преобразователей селективного действия. Использование преобразователей неселективного действия позволяет также в ряде случаев существенно упростить конструкцию органов регулирования при реализации связанных систем автоматического регулирования.

Рассмотрим как пример использования преобразователей неселективного действия систему связанного регулирования газоподогревателя, регулируемые параметрами которого являются расход G и температура T газа. В качестве преобразователей неселективного действия в такой системе могут быть использованы термопары или термометры электрического сопротивления. У этих преобразователей, при размещении их чувствительных элементов в потоке газа, выходной сигнал является функцией G и T . Это означает, что в установившемся режиме при $G = \text{const}$ и $T = \text{const}$ ЭДС термопары $E = E(G, T)$ и электрическое сопротивление $R = R(G, T)$ удовлетворяют условию (2).

На рис. 1 приведена принципиальная схема системы автоматического регулирования газоподогревателя, в которой в качестве преобразователей неселективного действия применены термопары. На этой схеме PG — регулятор расхода газа, составными элементами которого являются усилитель V_G , серводвигатель $СД_G$ и дроссель D ; PT — регулятор температуры газа, составными элементами которого являются усилитель V_T , серводвигатель $СД_T$ и электрический нагреватель $\mathcal{ЭН}$; $ТП_1$ и $ТП_2$ — термопары, значения ЭДС которых в установившемся режиме $E_1 = f_1(G, T)$ и $E_2 = f_2(G, T)$ есть линейно независимые функции G и T ; L_1 и L_2 — задаю-

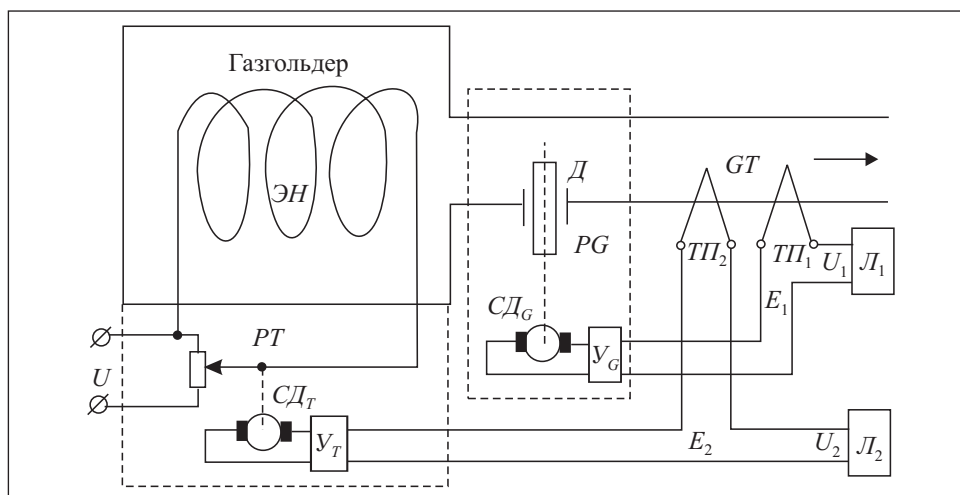


Рис. 1. Принципиальная схема системы автоматического регулирования газоподогревателя

щие устройства системы, формирующие ЭДС U_1 и U_2 ; U — потенциальное напряжение между началом и концом участка проводника.

Полагая формально рассматриваемую систему устойчивой, для установившегося режима системы можно записать следующие соотношения:

$$U_1 - E_1(G, T) = \psi_1, \quad (3)$$

$$U_2 - E_2(G, T) = \psi_2, \quad (4)$$

$$F_1(G, T) = H_1(\psi_1), \quad (5)$$

$$F_2(G, T) = H_2(\psi_2). \quad (6)$$

Соотношение (5) в данном случае описывает влияние регулятора расхода PG не только на величину G , но и на величину T , а соотношение (6) — влияние регулятора температуры PT не только на величину T , но и на величину G . Из соотношений (5) и (6) вытекают соотношения,

$$\psi_1 = L_1(G, T), \quad \psi_2 = L_2(G, T),$$

математически формализующие функционирование задающих устройств L_1 и L_2 и позволяющие преобразовать соотношения (3) и (4) в систему уравнений

$$\begin{aligned} F_1(G, T) + E_1(G, T) &= U_1, \\ F_2(G, T) + E_2(G, T) &= U_2, \end{aligned} \quad (7)$$

описывающую взаимосвязь между G и T в установившемся режиме работы системы при заданных значениях U_1 и U_2 .

Система (7) позволяет сформулировать необходимые условия выполнения регулирования значений G и T в интервалах задания (программирования) $G_{\text{п min}} \leq G_{\text{п}} \leq G_{\text{п max}}$ и $T_{\text{п min}} \leq T_{\text{п}} \leq T_{\text{п max}}$ при требуемом соответствии между значениями $G_{\text{п}}$ и $T_{\text{п}}$. Этим условием является существование множества вещественных чисел U_1 и U_2 , обеспечивающих однозначное решение системы уравнений (7) относительно G и T с плотным заполнением интервалов $G_{\text{п min}} \leq G_{\text{п}} \leq G_{\text{п max}}$ и $T_{\text{п min}} \leq T_{\text{п}} \leq T_{\text{п max}}$ при требуемом соответствии между G и T .

При выполнении указанного необходимого условия значения U_1 и U_2 , обеспечивающие требуемые значения $G = G_{\text{п}}$ и $T = T_{\text{п}}$, могут быть определены из уравнений

$$\begin{aligned} U_1 &= U_1(G_{\text{п}}, T_{\text{п}}) = E_1(G_{\text{п}}, T_{\text{п}}) + L_1(G_{\text{п}}, T_{\text{п}}), \\ U_2 &= U_2(G_{\text{п}}, T_{\text{п}}) = E_2(G_{\text{п}}, T_{\text{п}}) + L_2(G_{\text{п}}, T_{\text{п}}). \end{aligned} \quad (8)$$

Из (8) следует, что каждое задающее устройство системы, формирующее ЭДС U_1 и U_2 , должно быть выполнено в виде комплекса, состоящего из параллельно действующих моделей термопары и контура регулирования. Формулы для этих моделей могут быть либо заданы аналитически, либо определены экспериментально.

Достаточное условие выполнения рассматриваемой системой регулирования G и T определяется в результате исследования временных характеристик $G(t)$ и $T(t)$ системы. В общем случае это исследование может быть выполнено методами теории нелинейных систем [3], в частном случае — методами теории линейных систем с переменными во времени параметрами [4].

Методы теории линейных систем используются в случае, когда динамическое состояние рассматриваемой системы описывается соотношениями

$$\begin{aligned} T(t) &= \sum_{k=0} f_{1k} [G(t)] E_1^{(k)}(t), \\ G(t) &= \sum_{k=0} f_{2k} [T(t)] E_2^{(k)}(t), \\ U_1 - E_1(t) &= \sum_{k=0} f_{3k} [U_2 - E_2(t)] G^{(k)}(t), \\ U_2 - E_2(t) &= \sum_{k=0} f_{4k} [U_1 - E_1(t)] T^{(k)}(t), \end{aligned}$$

совместное решение которых позволяет выявить функции времени $G(t)$ и $T(t)$ по заданным значениям U_1 и U_2 .

Описанная система автоматического регулирования может быть эффективно использована для связанного регулирования аэродинамических труб, регулируемые параметрами которых являются число Маха (M) и температура T . Это объясняется тем, что при установке термопары в воздушном потоке, характеризуемом величинами M и T , $E = E(M, T)$.

В рассматриваемом случае ЭДС U_1 и U_2 , формируемые задающими устройствами системы, определяются из соотношений

$$U_1 = U_1(M_n, T_n) = E_1(M_n, T_n) + L_1(M_n, T_n),$$

$$U_2 = U_2(M_n, T_n) = E_2(M_n, T_n) + L_2(M_n, T_n).$$

Таким образом, системы связанного автоматического регулирования, реализованные на основе преобразователей неселективного действия, позволяют решить одну из актуальных задач в области техники аэродинамического эксперимента.

Возможность создания систем связанного регулирования с преобразователями неселективного действия проверена экспериментально с помощью электромеханической модели, схема которой приведена на рис. 2. Указанная модель представляет собой устройство, состоящее из двух механически связанных автоматически компенсирующих мостов с функциональными реохордами. На рис. 2 $P_1\Phi$, $P_2\Phi$, $P_3\Phi$, $P_4\Phi$ — функциональные реохорды, действующие значения омического сопротивления которых $\{R_i\}_{1 \leq i \leq 4}$ связаны с углами поворота движков реохордов $\{\alpha_i\}_{1 \leq i \leq 4}$ соотношением $R_i = R_i(\alpha_i)$, где $\alpha_1 = \alpha_3$ и $\alpha_2 = \alpha_4$; CD_1 и CD_2 — серводвигатели компенсации; R_1, R_2, R_3, R_4 — постоянные сопротивления.

В данной модели термопара $ТП_1$ представлена полумостом, состоящим из реохордов $P_1\Phi$ и $P_2\Phi$, а термопара $ТП_2$ — полумостом, состоящим из реохордов $P_3\Phi$ и $P_4\Phi$. ЭДС U_1 представлена полумостом, состоящим из сопротивлений R_1 и R_2 , а ЭДС U_2 — полумостом, состоящим из сопротивлений R_3 и R_4 . В качестве сравнивающего устройства регулятора температуры PT использован мост BM_1 , а в качестве сравнивающего устройства регулятора числа M — мост BM_2 . Регуляторы и объект регулирования представлены усилителями U_1 и U_2 и серводвигателями CD_1 и CD_2 . При этом в модели угол поворота CD_2 — α_2 характеризует число M в трубе, а угол поворота CD_1 — α_1 — температуру T .

Результаты исследований модели подтвердили возможность создания с ее помощью точных и устойчиво работающих систем связанного регулирования с преобразователями неселективного действия.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование преобразователей неселективного действия для реализации связанных систем регулирования ни в коей мере не ограничивается системами с двумя

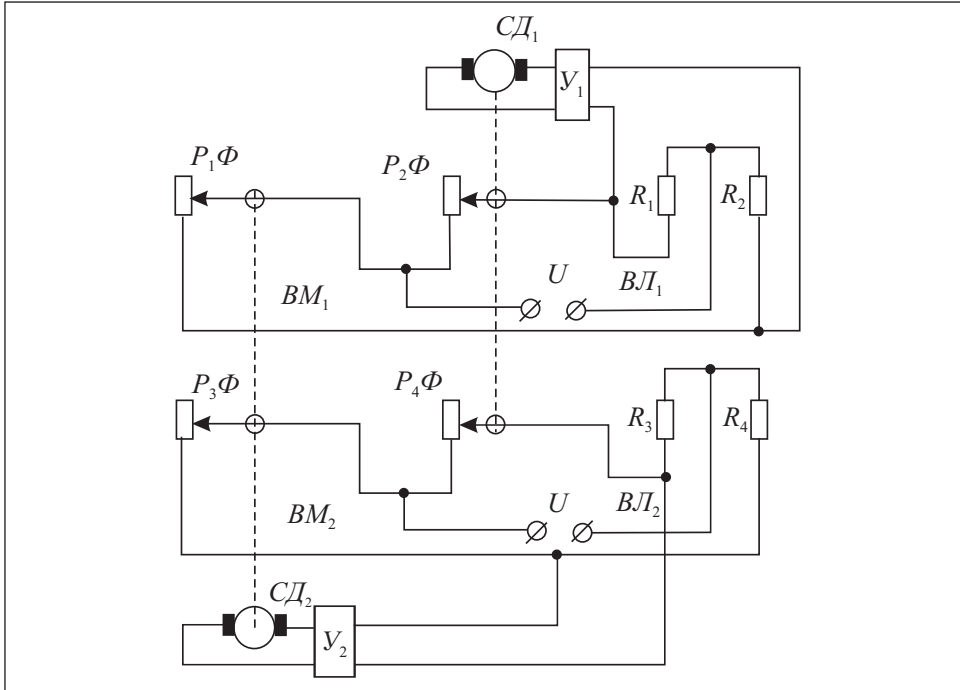


Рис. 2. Схема электромеханической модели системы связанного регулирования с двумя регулируемыми параметрами

регулируемыми параметрами. На самом деле, используя n первичных преобразователей, удовлетворяющих соотношению (2), можно реализовать систему связанного регулирования с n регулируемыми параметрами. Тогда система уравнений (7) примет вид

$$\begin{aligned}
 v_1(x_1, \dots, x_n) + L_1(x_1, \dots, x_n) &= U_1, \\
 v_i(x_1, \dots, x_n) + L_i(x_1, \dots, x_n) &= U_i, \\
 &\dots \dots \dots \\
 v_n(x_1, \dots, x_n) + L_n(x_1, \dots, x_n) &= U_n
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

В рассматриваемом случае необходимым условием существования системы будет существование множества вещественных чисел $\{U_i\}_{1 \leq i \leq n}$, обеспечивающих однозначное решение системы уравнений (9) относительно $\{x_i\}_{1 \leq i \leq n}$ с плотным заполнением интервалов $\{x_{i \text{ II min}} \leq x_{i \text{ II}} \leq x_{i \text{ II max}}\}_{1 \leq i \leq n}$ при требуемом соответствии между $\{\alpha_i\}_{1 \leq i \leq n}$.

Выводы

Полученные соотношения обеспечивают неселективность первичных преобразователей. На основе найденных функциональных зависимостей формируются задающие управляющие воздействия на выходе многопараметрических систем автоматического управления. Применение измерительных преобразователей неселективного действия упрощает конструкции органов регулирования в системах автоматического регулирования с несколькими регулируемыми параметрами. Результаты проведенных исследований подтвердили высокую устойчивость и точность системы.

The use of converters of nonselective action in the systems of interacting automatic control has been considered. Preliminary studies of the model with two adjustable parameters demonstrate the feasibility of accurate and stable systems with two or more controlled variables.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. — Киев. : Вища школа, 1988. — 359 с.
2. Подлесный Н.И. Элементы систем автоматического контроля и управления. — М. : Наука, 1991. — 461 с.
3. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування. — Київ. : Либідь, 1997. — 544 с.
4. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. — СПб. : Питер, 2005. — 336 с.

Поступила 24.12.13;
после доработки 05.02.14

СЫТНИК Александр Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, проректор по научной работе Черкасского государственного технологического университета. В 1985 г. окончил Киевский политехнический ин-т. Область научных исследований — моделирование динамических систем на основе интегральных моделей.

ПРОТАСОВ Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры электротехнических систем Черкасского государственного технологического университета, который окончил в 2002 г. Область научных исследований — моделирование динамических систем на основе интегральных моделей.

ТИХОХОД Владимир Александрович, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический ин-т». В 2003 г. окончил Каменец-Подольский национальный университет. Область научных исследований — моделирование динамических систем на основе интегральных моделей.