

Г. М. УЛАНОВ

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПО РАЗОМКНУТОМУ И ЗАМКНУТОМУ ЦИКЛАМ, И ПРИНЦИП ИНВАРИАНТНОСТИ

(Представлено академиком В. С. Кулебакиным 13 III 1954)

Основная задача, возникающая при проектировании современной высококачественной системы автоматического регулирования и следящей системы, заключается в выборе принципиальной схемы и определении ее передаточной функции, обеспечивающей максимальную точность системы. Работа автоматически действующих систем в реальных условиях характеризуется воздействием на систему различного рода возмущений и одновременно ограниченной возможностью достижения требуемой стабилизации и воспроизведения управляющих сигналов системой ввиду ее конечного быстродействия, несовершенства аппаратуры и т. п.

Идея о необходимости выбора оптимальных схем и параметров автоматических систем регулирования с учетом непрерывных возмущающих воздействий и ограниченной возможности стабилизации и воспроизведения управляющих сигналов регуляторами, работающими по принципу отклонения, была высказана В. С. Кулебакиным ⁽¹⁾. В дальнейшем В. С. Кулебакиным развиты методы построения схем и определения параметров системы автоматического управления, при которых точность системы поддерживается наибольшей ^(2,3), причем им установлены критерии для этих условий.

Один из этих методов основан на использовании принципов инвариантности, теория которых впервые была дана Н. Н. Лузиным и П. И. Кузнецовым ^(4,5), а другой — на принципе инвариантности с точностью до свободной составляющей.

А. Г. Ивахненко на основании метода ⁽³⁾ предложены некоторые способы устранения вынужденной составляющей ошибки системы автоматического регулирования ⁽⁶⁾.

В настоящее время широкое распространение в качестве систем, обладающих высокой динамической точностью, получили так называемые комбинированные системы, работающие по разомкнутому и замкнутому циклам (по принципу отклонения и возмущения). В указанных системах использование метода инвариантности — полной и с точностью до ε — дает возможность дальнейшего существенного достижения высокой динамической точности этих систем. Рядом авторов ⁽⁷⁻¹⁰⁾ при анализе подобных схем также определены условия, при которых система обладает минимальной ошибкой ε . Однако условия, найденные этими авторами, выражают лишь частные зависимости, существующие в ряде комбинированных систем, и не содержат общей концепции о минимизации ошибки системы.

Целью настоящей заметки является доказательство того положения, что условия минимизации ошибки ε и правила построения систем

регулирования и следящих систем с разомкнутым и замкнутым циклами представляют частный случай реализации условий инвариантности, которые требуются в (2,3).

Представленная на рис. 1 структурная схема является примером типичной системы, работающей по разомкнутому и замкнутому циклам. Здесь $Y_1(D)$ — передаточная функция разомкнутого цикла; $Y_2(D)$, $Y_3(D)$ и $Y_4(D)$ — передаточные функции замкнутого цикла.

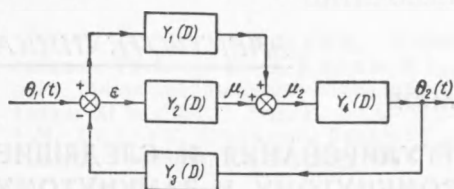


Рис. 1. Типичная структурная схема системы автоматического регулирования, работающая по разомкнутому и замкнутому циклам ($Y_3(D) = k$)

Действительно, для систем регулирования и слежения задача получения точных функциональных зависимостей между входом $\theta_1(t)$ и выходом $\theta_2(t)$ системы

$$\theta_1(t) = Y_3(D) \theta_2(t) \quad \left(D = \frac{d}{dt}\right)$$

сводится к требованию $\varepsilon \rightarrow 0$, где $\varepsilon(t) = \theta_1(t) - Y_3(D) \theta_2(t)$ ($Y_3(D) = k$).

Согласно принципу инвариантности $\varepsilon(t) = 0$ и $\varepsilon(t) \rightarrow 0$ при $\theta_1(t) \neq 0$ в том случае, если для рассматриваемой системы регулирования или слежения (рис. 1), описываемой дифференциальными уравнениями в матричной записи

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & Y_3(D) \\ -Y_2(D) & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -Y_4(D) & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \varepsilon \\ \mu_1 \\ \mu_2 \\ \theta_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \theta_1(t) \\ 0 \\ f(t) \\ 0 \end{vmatrix}; \quad f(t) = Y_1(D) \theta_1(t),$$

многочлен Δ' выражения

$$\Delta(D) \varepsilon(t) = \Delta'(D) \theta_1(t)$$

должен быть равен нулю или, в случае невозможности удовлетворить найденному условию, — малой величине $\delta \Delta'$.

Здесь

$$\Delta'(D) = 1 - Y_1(D) Y_3(D) Y_4(D);$$

$$\Delta(D) = 1 + Y_2(D) Y_3(D) Y_4(D)$$

($\text{Re } \lambda_k < 0$, где λ_k — корни уравнения $\Delta(D) = 0$).

Выполнение условия $\varepsilon \rightarrow 0$ при $\theta_1(t) \neq 0$ очевидно, приводит к следующему требованию относительно передаточной функции разомкнутого цикла системы:

$$Y_1(D) = \frac{1}{Y_3(D) Y_4(D)}.$$

В случае невозможности удовлетворить найденному условию, необходимо минимизировать величину $\delta \Delta'$ в требуемом для каждой конкретной системы регулирования и следящей системы смысле (с точки зрения ее систематических и случайных ошибок) (11, 12). Если же $\theta_1(t)$ задано, то операторный многочлен $\Delta'(D)$ должен быть подобран так, чтобы он содержал в качестве сомножителя оператор $K(D)$, являющийся изображением заданной функции $\theta_1(t)$.

Нетрудно заметить, что

1. Введение в систему воздействия по возмущению (рис. 1) не нарушает устойчивости системы, так как оператор $\Delta(D)$, характеризующий устойчивость системы, не включает передаточной функции разомкнутого цикла системы $Y_1(D)$.

2. Регулирование и слежение с дополнительным воздействием по возмущению в комбинированной системе позволяет получить более точные регулирование или воспроизведение. Разомкнутый цикл в этой системе служит главной частью системы, минимизирующей ошибку.

3. Комбинированная система позволяет почти полностью устранить статические, скоростные и по ускорению ошибки системы, а также ошибки, вызываемые определенными внешними возмущениями.

4. Высокое качество переходного процесса может быть достигнуто более простыми устройствами регулирования и слежения и, в частности, с ограниченным быстродействием собственных процессов самих систем.

Таким образом, применение систем разомкнуто-замкнутого цикла с использованием различных видов инвариантности открывает широкие возможности для дальнейшего повышения качества процессов автоматически управляемых систем, находящихся при реальных условиях всегда под непрерывным воздействием заданных или случайных возмущений (¹²).

Поступило
5 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. С. Кулебакин, Автоматика и телемеханика, №№ 4 и 6 (1940). ² В. С. Кулебакин, ДАН, 68, № 5 (1949). ³ В. С. Кулебакин, ДАН, 77, № 2 (1951). ⁴ Н. Н. Лузин, П. И. Кузнецов, ДАН, 51, №№ 4 и 5 (1946). ⁵ Н. Н. Лузин, П. И. Кузнецов, ДАН, 80, № 3 (1951). ⁶ А. Г. Ивахненко, ДАН, 87, № 6 (1952). ⁷ J. R. Moore, Proc. IRE, 39 (11) (1952). ⁸ R. Drenick, *ibid.*, 41, (3) (1953). ⁹ A. Rosenblatt, Bull. Am. Math. Soc., 51 (1945). ¹⁰ A. Porter, Introduction to Servomechanism, London, 1950. ¹¹ В. В. Солодовников, Введение в статистическую динамику систем автоматического управления, 1952. ¹² Следящие и авторегулируемые системы, отличающиеся от обычных систем с обратной связью, Прикладная механика и машиностроение, 5, 1953.