УДК 681.51

В.А. Бейнарович

Самонастраивающиеся системы с эталонной моделью

Излагаются принципы построения и методы расчета самонастраивающихся систем автоматического управления с эталонной моделью для объектов с изменяющимся коэффициентом передачи и изменяющейся постоянной времени.
Ключевые слова: системы управления, модели объектов, самонастройка, динамическая устойчивость, физическая реализация устройств, сходимость процессов управления.

Самонастраивающиеся системы с эталонной моделью для автоматического управления объектами с изменяющимся коэффициентом передачи можно строить по структуре, состоящей из самонастраивающейся части *A*, обычного регулятора *6* и датчика обратной связи *7* (рис. 1) [1–3].

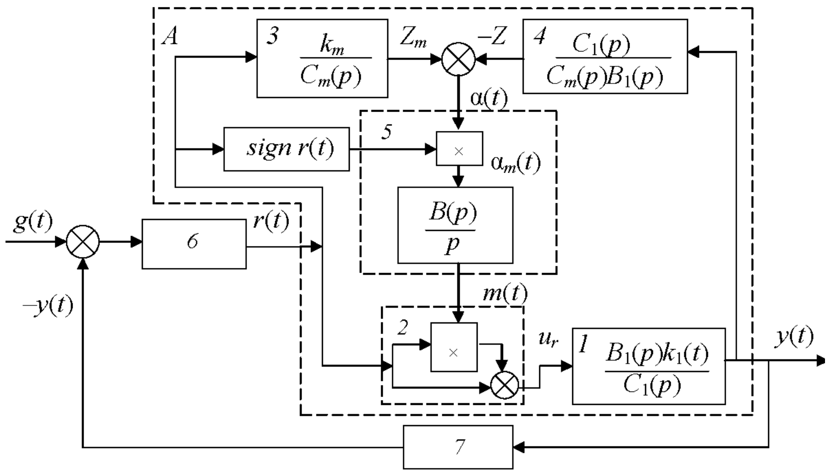

Рис. 1. Структура самонастраивающихся САУ с эталонной моделью

Самонастраивающаяся часть *A* включает объект управления (ОУ) *1* с изменяющимся коэффициентом передачи $k_1(t)$, эталонную модель *3* ОУ с желаемым (номинальным) коэффициентом передачи k_m, звено *4* согласования выхода ОУ $y(t)$ с выходом Z_m эталонной модели *3*, блока *5* самонастройки корректирующего звена *2*. Контур самонастройки охватывает часть основной системы управления, образуя дополнительную (кроме основной системы) отрицательную обратную связь через блок *5*, осуществляя синтез управления u_r, обеспечивающего при $\alpha(t) = 0$ равенство процессов на выходах ОУ *1* и эталонной модели *3*.

Определим условия динамической устойчивости и время самонастройки САУ с эталонной моделью. Для этого в её схеме (см. рис. 1) проведем эквивалентные замены операторных функций передачи ОУ $\frac{B_1(p)k_1(t)}{C_1(p)} = \frac{k_1(t)}{C_m(p)}$ и звена *4* $\frac{C_1(p)}{C_m(p)B_1(p)} = 1$, тогда получим $y(t)=z(t)$. При этом, с учетом равенства $u_r = (1+m)\, r$, получим уравнение

$$\alpha(t) = \int_0^t g_m(t-\tau)\left\{k_m - \left[1+m(\tau)\right]k_1(\tau)\right\} r(\tau)d\tau, \quad (0 < t < t_1), \tag{1}$$

где $g_m(t) \leftarrow \frac{1}{C_m(s)}$ – весовая функция модели при $k_m = 1$; t_1 – наименьший корень уравнения $g_m(t) = 0$. Самонастройка закончится при $\alpha(t) = 0$, когда

$$m(t) \to \frac{k_m - k_1(t)}{k_1(t)} = \frac{k_m}{k_1(t)} - 1. \tag{2}$$

Значение $m(t)$ из схемы (см. рис. 1), с эквивалентными заменами ОФП, равно

$$m(t) = \operatorname{sign} r \cdot \frac{B(p)}{pC_m(p)} \cdot r(t)\left\{k_m - \left[1 + m(t)\right]k_1(t)\right\}. \qquad (3)$$

При $m(t)$, удовлетворяющем условию (2), система переходит в установившийся режим. Возможность обеспечения условия (2) означает устойчивость процесса самонастройки. Время реализации условия (2) определяет продолжительность процесса самонастройки. Сходимость процесса $m(t)$ зависит от выбора операторов $C_m(p)$ и $B(p)$, исходя из следующих требований: $C_m(0) \neq 0; B(0) \neq 0$ – условие обеспечения устойчивости; возможность физической реализации звена *4*; простота контура самонастройки. Кроме того, в канале формирования коэффициента модуляции $m(t)$ нежелательно присутствие операций дифференцирования. Из этих требований следует, что порядок оператора $C_m(p)$ должен быть выше избытка полюсов ОУ над его нулями (по крайней мере необходимо их равенство). Порядок оператора $B(p)$ не должен быть выше порядка оператора $C_m(p)$, в противном случае в канале формирования $m(t)$ будет присутствовать операция дифференцирования.

Самонастраивающаяся САУ ОУ с изменяющейся постоянной времени (рис. 2) работает так же, как и САУ ОУ с изменяющимся коэффициентом передачи (см. рис. 1). Но изменение постоянной времени $T_\text{v} = 1/\omega_\text{v}$ ОУ эквивалентно наличию «блуждающего» полюса ω_v в передаточной функции ОУ и задача контура самонастройки состоит в создании подвижного нуля, обеспечивающего компенсацию перемещений «блуждающего» полюса. Эта задача решается изменением коэффициента передачи верхней ветви корректирующего звена *2* (см. рис. 2) при изменении выходного сигнала $m(t)$ блока самонастройки *5*. По рис. 2 передаточную функцию звена *2* от $r(t)$ к $u_r(t)$ можно представить в виде $W_2(s) = \dfrac{s+m}{s+\omega_m}$. Тогда получим:

$$Z(s) = \frac{k(s+m)}{(s+\omega_m)(s+\omega_v)C_m^*(s)} \cdot r(s); \quad Z_m(s) = \frac{k}{(s+\omega_m)C_m^*(s)} \cdot r(s). \qquad (4)$$

При $m(t) = \omega_v(t)$ значение $\alpha(t) = 0$ и в системе идет требуемый установившийся режим $y(t)$. При изменении ω_v возникает рассогласование $\alpha(t) \neq 0$ и $m(t)$ начнет изменяться до $\alpha(t) = 0$ при другом значении $m(t)$.

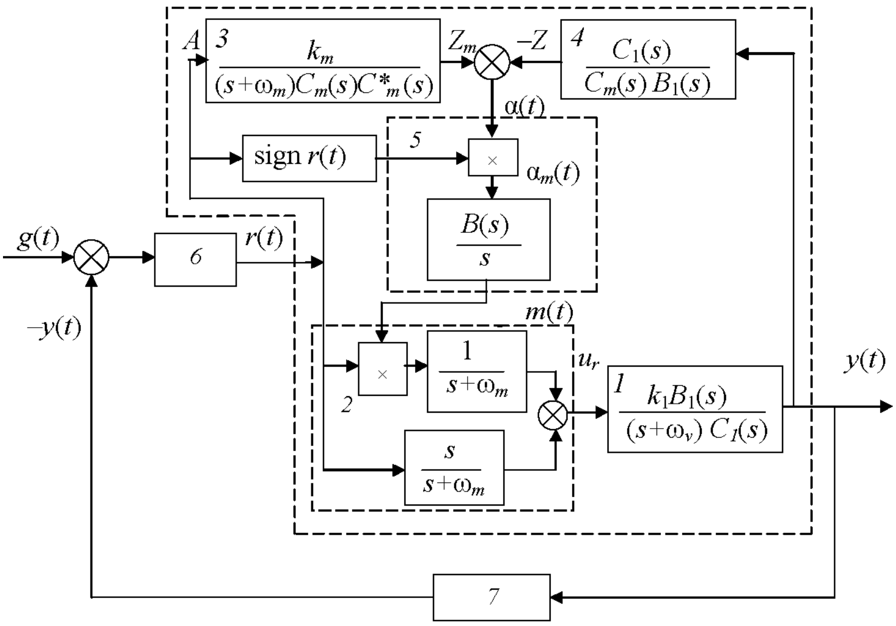

Рис. 2. Структурная схема самонастраивающейся САУ объектами управления с изменяющейся постоянной времени

Анализ устойчивости САУ объектами с изменяющимся коэффициентом передачи и изменяющейся постоянной времени в принципе одинаковы. Значения ω_v изменяются медленно, и в интервале сходимости функцию $\omega_v(t)$ можно принять постоянной. Тогда, выбрав $B(s) = h \cdot (s + \omega_m) \cdot C_m^*(s)$, получим уравнение

$$\ddot{m}(t) + \omega_v(t)\dot{m}(t) + hk_1 r_m(t) \cdot m(t) = hk_1 r_m(t) \cdot \omega_v(t),$$

которое с учетом медленности изменения $\omega_v(t)$ при подстановке $m(t) = m_0(t) + \omega_v(t)$ приводится к виду $\ddot{m}_0(t) + \omega_v \cdot \dot{m}_0(t) + hk_1 r_m(t) \cdot m_0(t) = 0$. Полученное уравнение при сходимости $m_0(t)$ к нулю обеспечивает сходимость $m(t)$ к $\omega_v(t)$. В результате влияние изменений постоянной времени $T_v = 1/\omega_v$ на выходной процесс $y(t)$ в САУ компенсируются. Выбор значения $B(s)$ ограничен случаями, когда требуемый порядок оператора $C_m^*(s)$ не выше первого. В случаях, когда порядок $C_m^*(s)$ выше первого, целесообразно выбирать $B(s) = h$. В этом случае, при медленности изменения $\omega_v(t)$, дифференциальное уравнение для $m(t)$ будет иметь вид

$$m^{(n+1)} + c_n m^{(n)} + \cdots + c_1 m^{(1)} + hk_1 r_m \cdot m = hk_1 r_m \omega_v,$$

где c_i – коэффициенты оператора $s(s+\omega_m)(s+\omega_v) \cdot C_m^*(s) = s^{n+1} c_n s^n + \cdots + c_1 s$. Введя подстановку $m(t) = m_0(t) + \omega_v(t)$ в предыдущее уравнение, получим однородное уравнение $m_0^{(n+1)} + c_n m_0^{(n)} + \cdots + c_1 m_0^{(1)} + hk_1 r_m m_0 = 0$. После определения устойчивости и времени сходимости процесса самонастройки для самонастраивающейся части САУ, можно провести анализ устойчивости системы в целом по эквивалентной структурной схеме (рис. 3) с учетом изменений коэффициента передачи $k(t)$ и постоянной времени $T_v(t) = 1/\omega_v(t)$ ОУ.

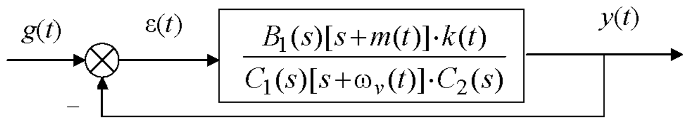

Рис. 3. Эквивалентная структурная схема системы управления

Порядок записи операторов в передаточной функции системы нельзя менять произвольно, т.к. нестационарные операторы не коммутируются.

Литература

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 2003. – 752 с.

2. Кориков А.М. Основы теории управления. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – 393 с.

3. Бейнарович В.А. Инвариантные самонастраивающиеся системы автоматического управления // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2008. – № 1(17). – С. 61–64.

Бейнарович Владислав Александрович
Доктор техн. наук, профессор каф. комплексной информационной безопасности ТУСУР,
заслуженный изобретатель РФ
Тел.: (8-382-2) 41-34-26
Эл. почта: bva@keva.tusur.ru

V.A. Beynarovich

Self-adjustment systems with reference model

Constructions principles and calculation methods of self-adjusted systems of automatic control with reference model for objects with the changing factor of transfer and a changing constant of time are stated.

Keywords: control systems, objects models, self-adjustment, dynamic stability, physical devices realization, control processes convergence.