

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НЕПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ С ВКЛЮЧЕННЫМ ПО СХЕМЕ СМИТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ КОМПЕНСАТОРОМ К ВАРИАЦИЯМ ОРДИНАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Н. А. ВУНДЕР, М. М. СИНЕТОВА, А. В. УШАКОВ

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: polinova_nina@mail.ru

Исследуется включение последовательного компенсатора в прямую ветвь проектируемой системы по схеме Смита, которая используется как эффективный способ решения задачи вывода звена чистого запаздывания за пределы замкнутого контура системы. Это свойство системы, обеспечивающее ее устойчивость независимо от величины запаздывания, основано на аддитивной сигнальной компенсации, представляющей собой неробастную процедуру. Для корректной реализации сигнальной компенсации необходимо точное знание величины запаздывания и ординарных параметров полиномиальной части передаточной функции технического объекта. Решается задача анализа чувствительности процессов в проектируемой системе к отклонению ординарных параметров от их номинальных значений.

Ключевые слова: технический объект, звено чистого запаздывания, последовательный компенсатор, схема Смита, чувствительность процессов к вариации параметров

Введение. Звено чистого запаздывания в составе непрерывных технических объектов существенно усложняет решение задачи надления систем, в состав которых входят такие объекты, гарантированной устойчивостью, являющейся обязательным условием работоспособности. Один из эффективных способов преодоления этой сложности — построение системы с последовательным компенсатором, включаемым по схеме Смита [1—9], которая называется также предиктором Смита. Использование схемы Смита позволяет вывести звено чистого запаздывания за пределы контура, охватываемого отрицательной единичной обратной связью. Тем самым решается задача гарантированной устойчивости систем с запаздыванием при любой его величине. К этому надо добавить, что предиктор Смита во всех его модификациях [1—9] построен по схеме сигнальной компенсации, которая является неробастной, так как требует точного формирования сигналов компенсации. При этом точное формирование сигналов может быть нарушено по различным причинам, в том числе в связи с неточным знанием чистого запаздывания в техническом объекте и ординарных параметров дробно-рациональной части его передаточной функции. Таким образом, существует проблема анализа параметрической чувствительности проектируемой системы с последовательным компенсатором, включенным по схеме Смита в ее прямую ветвь. Указанная проблема, которая, как и в работе [10], решается на основе функций чувствительности первого порядка, является предметом исследования в настоящей статье.

Постановка задачи. Рассматривается задача аналитического конструирования последовательного компенсатора [11, 12], включаемого в прямую ветвь системы, в состав которой входит технический объект (ТО) с запаздыванием, описываемый передаточной функцией (ПФ)

$$W_{\text{ТО}}(s, \tau) = W_{\text{ТО}}(s) e^{-\tau s}, \quad (1)$$

где $W_{\text{ТО}}(s)$ — дробно-рациональная составляющая ПФ объекта, τ — величина чистого запаздывания.

Последовательный компенсатор (ПК) с передаточной функцией $W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)$ за счет включения по схеме Смита должен обеспечивать представление ПФ „вход—выход“ системы в форме

$$\Phi(s, \omega_0, \tau) = \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s}. \quad (2)$$

Здесь $\Phi(s, \omega_0)$ — ПФ типовой полиномиальной модели (ТПМ), отношение „вход—выход“ которой задается передаточной функцией

$$\Phi(s, \omega_0) = \frac{v_n \omega_0^n}{s^n + \sum_{i=1}^n v_i \omega_0^i s^{n-i}} = \frac{v_n \omega_0^n}{D(s, \omega_0)}, \quad (3)$$

где коэффициенты v_i определяют характер размещения корней полинома знаменателя $D(s, \omega_0)$, а частота ω_0 определяет размер этого размещения.

Значения коэффициентов v_i влияют на запас устойчивости системы, перерегулирование кривой переходного процесса и показатель колебательности системы. Значение характеристической частоты ω_0 при фиксированных коэффициентах v_i определяет такие показатели качества, как длительность переходного процесса, добротность по скорости, ширина полосы пропускания на заданном уровне амплитудных частотных характеристик ТПМ (3) по выходу и ошибке. Таким образом, при фиксированных коэффициентах v_i задача синтеза ТПМ (3) является однопараметрической, сводящейся к оценке величины ω_0 . На основании предположения, что звено чистого запаздывания выведено структурными средствами за пределы контура замкнутой системы, может быть предложен алгоритм последовательного компенсатора с передаточной функцией $W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)$.

Алгоритм синтеза последовательного компенсатора.

1. Сформировать передаточную функцию технического объекта с запаздыванием в форме (1).

2. Сформировать требования к показателям системы в переходном и установившемся режимах, а именно к величине перерегулирования, длительности переходного процесса, добротности по скорости.

3. Сформировать модель желаемого поведения системы в форме передаточной функции (3), так чтобы порядок ее полинома знаменателя равнялся порядку полинома знаменателя передаточной функции $W_{\text{ТО}}(s)$; коэффициенты v_i задать в соответствии с принятым размещением корней полинома $D(s, \omega_0)$, обеспечивающим требуемое перерегулирование и значение характеристической частоты ω_0 при условии достижения заданной длительности переходного процесса и добротности по скорости.

4. Сформировать передаточную функцию $W(s, \omega_0)$ прямой ветви синтезируемой системы, которая, будучи замкнутой единичной обратной связью, реализует передаточную функцию „вход—выход“ вида (3):

$$W(s, \omega_0) = \frac{\Phi(s, \omega_0)}{1 - \Phi(s, \omega_0)} = \frac{v_n \omega_0^n}{s^n + \sum_{i=1}^{n-1} v_i \omega_0^i s^{n-i}}. \quad (4)$$

5. Сформировать передаточную функцию последовательного компенсатора с помощью соотношения

$$W_{ПК}(s, \omega_0) = \frac{W(s, \omega_0)}{W_{ТО}(s)}. \tag{5}$$

6. Проверить физическую реализуемость передаточной функции (5): при достижении физической реализуемости перейти к п. 7, в противном случае перейти к п. 4 с целью увеличения порядка n полинома $D(s, \omega_0)$.

7. Осуществить техническую реализацию последовательного компенсатора.

Для целей дальнейших исследований сформулируем утверждение.

Утверждение. Вывод звена чистого запаздывания технического объекта за пределы основного контура системы обеспечивается включением последовательного компенсатора в прямую ветвь системы по схеме Смита, представленной на рис. 1.

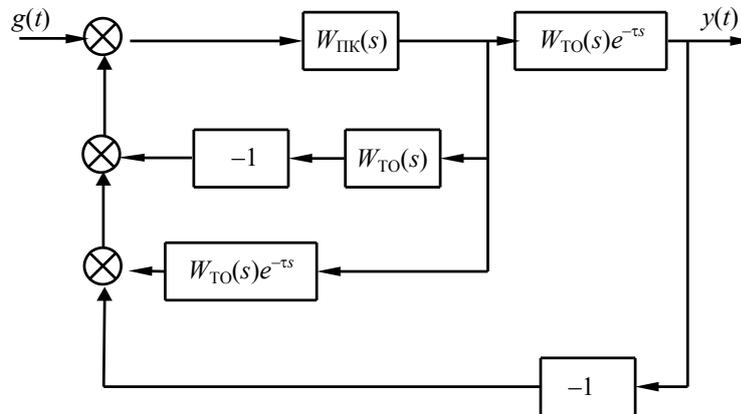


Рис. 1

Доказательство. Доказательство утверждения строится на использовании правила Мейсона [13, 14]. В соответствии с правилом Мейсона некасающихся контуров для схемы, приведенной на рис. 1, с учетом структуры вложенных друг в друга контуров, образованных последовательным компенсатором $W_{ПК}(s) = W_{ПК}(s, \omega_0)$, блоком с передаточной функцией $W_{ТО}(s, \tau) = W_{ТО}(s)e^{-\tau s}$ и инвертором, для ПФ „вход — выход“ получим

$$\begin{aligned} \Phi(s, \omega_0, \tau) &= \frac{W_{ПК}(s, \omega_0)W_{ТО}(s)e^{-\tau s}}{1 + W_{ПК}(s, \omega_0)W_{ТО}(s) - W_{ПК}(s, \omega_0)W_{ТО}(s)e^{-\tau s} + W_{ПК}(s, \omega_0)W_{ТО}(s)e^{-\tau s}} = \\ &= \frac{W_{ПК}(s, \omega_0)W_{ТО}(s)e^{-\tau s}}{1 + W_{ПК}(s, \omega_0)W_{ТО}(s)} = \Phi(s, \omega_0)e^{-\tau s}. \end{aligned} \tag{6}$$

Основной результат. Под ординарными параметрами технического объекта будем понимать коэффициенты дробно-рациональной составляющей $W_{ТО}(s)$ его передаточной функции $W_{ТО}(s, \tau)$. В дальнейших исследованиях ограничимся размерностью $n_{ТО} = 3$ и представлением передаточной функции $W_{ТО}(s)$ в форме

$$W_{ТО}(s) = \frac{b_0}{a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3}. \tag{7}$$

Выражение (7) справедливо для номинальных значений параметров, если же параметры отличаются от номинальных, то ПФ (7) получает представление

$$W_{ТО}(s, q) = \frac{b_0(1 + q_5)}{a_0(1 + q_1)s^3 + a_1(1 + q_2)s^2 + a_2(1 + q_3)s + a_3(1 + q_4)}. \tag{8}$$

Будем считать относительные параметры $q_j = q_{j0} + \Delta q_j$, $j = \overline{1, 5}$, такими, что $q_{j0} = 0$, $\dot{q}_j = 0$, т.е. квазистационарными. Подстановка выражения (8) в (6) дает

$$\Phi(s, \omega_0, \tau, q) = \frac{W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)W_{\text{ТО}}(s, q)e^{-\tau s}}{1 + W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)W_{\text{ТО}}(s) - W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)W_{\text{ТО}}(s)e^{-\tau s} + W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)W_{\text{ТО}}(s, q)e^{-\tau s}}. \quad (9)$$

Применим к решению поставленной задачи аппарат теории чувствительности, опирающийся на функции чувствительности первого порядка передаточных функций [15]. Вычисление функции $S_{q_j} = S_{q_j}(s, \tau)$ чувствительности первого порядка ПФ „вход—выход“ (9) схемы Смита к вариации параметров q_j в точке $q_0 = 0$ осуществляется путем дифференцирования выражения (9) по q_j , $j = \overline{1, 5}$:

$$S_{q_j} = \frac{\partial \Phi(s, \omega_0, \tau, q)}{\partial q_j} \Big|_{q=q_0} = \left[W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)e^{-\tau s} \frac{\frac{\partial}{\partial q_j} W_{\text{ТО}}(s, q)}{1 + W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)W_{\text{ТО}}(s)} \Big|_{q=q_0} - \frac{W_{\text{ТО}}(s)}{(1 + W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)W_{\text{ТО}}(s))^2} W_{\text{ПК}}(s, \omega_0)e^{-\tau s} \frac{\partial}{\partial q_j} W_{\text{ТО}}(s, q) \Big|_{q=q_0} \right]. \quad (10)$$

Тогда в силу (10) для $q_j = q_{j0} + \Delta q_j$, $j = \overline{1, 5}$, получим функции параметрической чувствительности

$$\left. \begin{aligned} S_{q_1}(s, \omega_0, \tau) &= \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0)e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_0 s^3 e^{-\tau s}, \\ S_{q_2}(s, \omega_0, \tau) &= \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0)e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_1 s^2 e^{-\tau s}, \\ S_{q_3}(s, \omega_0, \tau) &= \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0)e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_2 s e^{-\tau s}, \\ S_{q_4}(s, \omega_0, \tau) &= \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0)e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_3 e^{-\tau s}, \\ S_{q_5}(s, \omega_0, \tau) &= \frac{1}{2} \left(1 - \Phi(s, \omega_0)e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

В соответствии с системой уравнений (11) для параметрически возмущенной ПФ „вход—выход“ можно записать

$$\begin{aligned} \Phi(s, \omega_0, \tau, q = q_0 + \Delta q) &= \Phi(s, \omega_0, \tau) + \Delta \Phi(s, \omega_0, \tau, q_0, \Delta q) = \\ &= \Phi(s, \omega_0, \tau) + \sum_{j=1}^{p=5} \left(\frac{\partial \Phi(s, \omega_0, \tau, q)}{\partial q_j} \Big|_{q=q_0} \Delta q_j \right) = \Phi(s, \omega_0, \tau) + \sum_{j=1}^{p=5} S_{q_j}(s, \omega_0, \tau) \Delta q_j. \end{aligned} \quad (12)$$

Нетрудно видеть, что функции чувствительности системы с последовательным компенсатором, включенным по схеме Смита, порождают дополнительные движения, которые суммируются с параметрически невозмущенной траекторией выхода системы. Так, для переходной функции $h(t, \tau, q)$ параметрически возмущенной системы будем иметь

$$h(t, \tau, q) = h(t, \tau) + \sum_{j=1}^{p=5} \Delta h_j(t, \tau, \Delta q) = h(t, \tau) + \sum_{j=1}^{p=5} \eta_j(t, \tau) \Delta q_j, \quad (13)$$

где $h(t, \tau)$ — передаточная функция параметрически невозмущенной системы, $\eta_j(t, \tau)$ — функции траекторной чувствительности системы по выходу:

$$h(t, \tau) = L^{-1} \left\{ \Phi(s, \omega_0, \tau) \frac{1}{s} \right\}, \quad \eta_j(t, \tau) = L^{-1} \left\{ S_{q_j}(s, \omega_0, \tau) \frac{1}{s} \right\}. \quad (14)$$

В этой связи необходимо оценить предельные по времени свойства функций траекторной чувствительности $\eta_j(t)$ при $t \rightarrow 0$ и $t \rightarrow \infty$:

— при $\lim_{t \rightarrow 0} \eta_j(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s S_{q_j}(s, \omega_0, \tau) \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow \infty} S_{q_j}(s, \omega_0, \tau)$:

$$\left. \begin{aligned} \lim_{s \rightarrow \infty} S_{q_1}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_0 s^3 e^{-\tau s} = 0, \\ \lim_{s \rightarrow \infty} S_{q_2}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_1 s^2 e^{-\tau s} = 0, \\ \lim_{s \rightarrow \infty} S_{q_3}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_2 s e^{-\tau s} = 0, \\ \lim_{s \rightarrow \infty} S_{q_4}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_3 e^{-\tau s} = 0, \\ \lim_{s \rightarrow \infty} S_{q_5}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) b_0 e^{-\tau s} = 0; \end{aligned} \right\}$$

— при $\lim_{t \rightarrow \infty} \eta_j(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s S_{q_j}(s, \omega_0, \tau) \frac{1}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} S_{q_j}(s, \omega_0, \tau)$:

$$\left. \begin{aligned} \lim_{s \rightarrow 0} S_{q_1}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_0 s^3 e^{-\tau s} = 0, \\ \lim_{s \rightarrow 0} S_{q_2}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_1 s^2 e^{-\tau s} = 0, \\ \lim_{s \rightarrow 0} S_{q_3}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_2 s e^{-\tau s} = 0, \\ \lim_{s \rightarrow 0} S_{q_4}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) a_3 e^{-\tau s} = a_3, \\ \lim_{s \rightarrow 0} S_{q_5}(s, \omega_0, \tau) &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{2} \left(1 + \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s} \right) \Phi(s, \omega_0) b_0 e^{-\tau s} = 0. \end{aligned} \right\}$$

Пример. Рассмотрим систему с передаточной функцией (12), номинальная составляющая которой сформирована в соответствии со следующими исходными данными:

1) технический объект задан моделью в виде передаточной функции

$$W_{\text{ТО}}(\tau, s) = W_{\text{ТО}}(s) e^{-\tau s}, \quad W_{\text{ТО}}(s) = \frac{1}{(s+1)(s+2)s} = \frac{1}{s^3 + 3s^2 + 2s},$$

так что $a_0 = 1$, $a_1 = 3$, $a_2 = 2$, $a_3 = 0$, $b_0 = 1$, $\tau = 0,3$ с;

2) желаемое поведение проектируемой системы в переходном и установившемся режимах обеспечивается передаточной функцией вида

$$\Phi(s, \omega_0, \tau) = \Phi(s, \omega_0) e^{-\tau s},$$

$$\Phi(s, \omega_0) = \frac{W_{ПК}(s)W_{ТО}(s)}{1+W_{ПК}(s)W_{ТО}(s)} = \frac{\omega_0^3}{s^3 + 3\omega_0 s^2 + 3\omega_0^2 s + \omega_0^3},$$

которая за счет выбора частоты ω_0 гарантирует достижение необходимой длительности переходного процесса.

В силу соотношений (11) функции чувствительности существенным образом зависят от частоты ω_0 , поэтому проведем эксперимент для двух значений ω_0 : 3 и 30c^{-1} .

На рис. 2 приведены графики функции $h(t, \tau, \omega_0)$, при ω_0 , равном 3 и 30c^{-1} (кривые 1 и 2 соответственно); графики функций $\eta_j(t, \tau, \omega_0)$, $j=1, 2, 3, 5$, траекторной чувствительности системы с последовательным компенсатором, включенным по схеме Смита, формируемые согласно соотношениям (11) и (14), при $\omega_0 = 3\text{c}^{-1}$ и $\omega_0 = 30\text{c}^{-1}$ показаны на рис. 3 и 4 соответственно. Функция $\eta_4(t, \tau, \omega_0)$, в силу того, что свободный член a_3 равен нулю, для всех значений частоты ω_0 является нулевой.

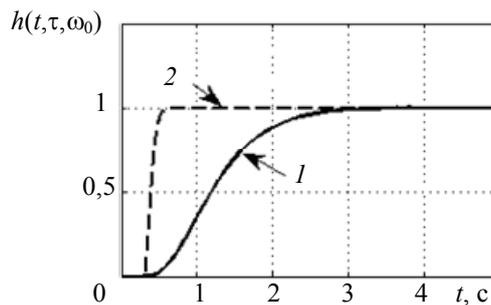


Рис. 2

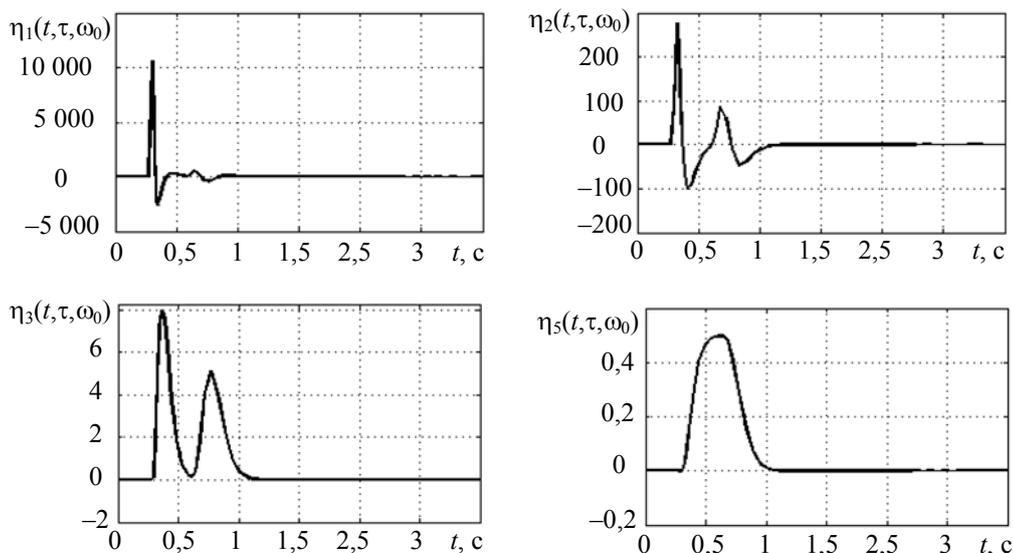


Рис. 3

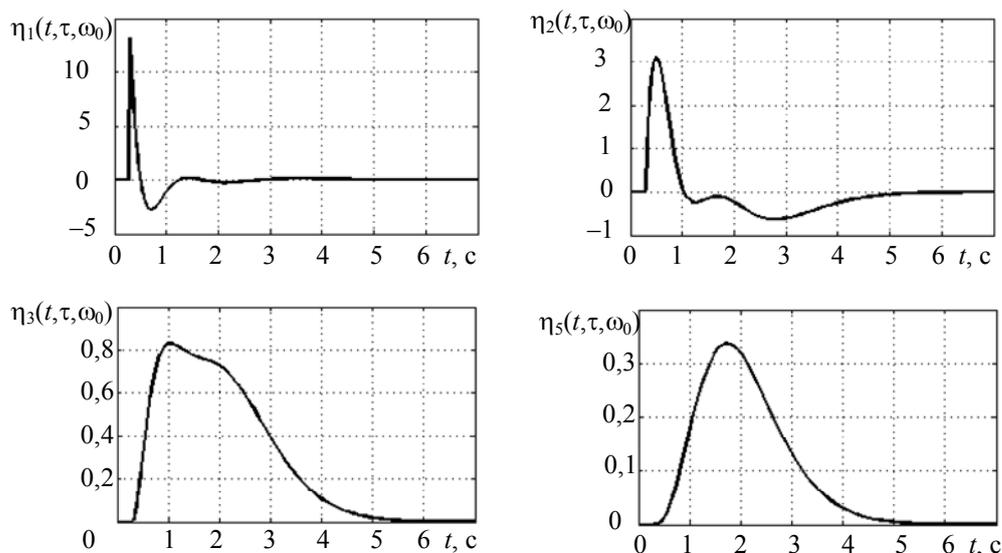


Рис. 4

Заключение. Проведенные с помощью функций траекторной чувствительности первого порядка исследования чувствительности системы с последовательным компенсатором, включенным по схеме Смита, к вариациям ординарных параметров полиномиальной части передаточной функции технического объекта показывают, что схема Смита является робастно устойчивой по отношению к вариациям указанных параметров. Робастным оказывается и установившееся движение системы к вариациям параметров, однако сам процесс перехода из нулевого состояния в установившееся характеризуется существенными изменениями.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01), Министерства образования и науки РФ (проект 14.Z50.31.0031) и гранта Президента Российской Федерации (№14.Y3116.9281-НШ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith O. J. M. Close control of loops with dead time // Chemical Engineering Progress. 1957. Vol. 53. P. 217—235.
2. Smith O. J. M. A controller to overcome dead time // ISA Journal. 1959. Vol. 6, N 2. P. 28—32.
3. Åström K. J., Hang C. C., Lim B. C. A new Smith predictor for controlling a process with an integrator and long deadtime // IEEE Transact. on Automatic Control. 1994. N 39(2). P. 343—345.
4. Fliess M., Marquez R., Mounier H. PID-like regulators for a class of linear delay systems // Proc. of the 6th European Control Conf. (ECC'01), Porto, Portugal, 2001.
5. Majhi S., Atherton D. A new Smith predictor and controller for unstable and integrating processes with time delay // Proc. of the 37th IEEE Conf. on Decision and Control (CDC'98), Tampa, FL, 1998. P. 1341—1345.
6. Olbrot A. W. Finite spectrum property and predictors // Proc. of the 1st IFAC Workshop on Linear Time Delay Systems, Grenoble, France, 1998. P. 251—260.
7. Palmor Z. J. Time-delay compensation — Smith predictor and its modifications // The Control Handbook; Ed. W. S. Levine. Boca Raton, FL, USA: CRSC Press, 1996. P. 224—237.
8. Mataušek M. R., Ribić A. I. Control of stable, integrating and unstable processes by the Modified Smith Predictor // J. of Process Control. 2012. Vol. 22, iss. 1. P. 338—343.
9. Padhan D. G., Majhi S. Modified Smith predictor based cascade control of unstable time delay processes // ISA Transact. 2012. Vol. 51, iss. 1. P. 95—104.
10. Вундер Н. А., Ушаков А. В. Анализ чувствительности к вариации запаздывания систем с последовательным компенсатором, включенным по схеме Смита // Автометрия. 2016. Т. 52, № 3. С. 71—78.

11. Бесекецкий В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления: Учебник. СПб: Профессия, 2003. 752 с.
12. Brasch F. M., Jr., Pearson J. B. Pole placement using dynamic compensators // IEEE Transact. on Automatic Control. 1970. Vol. 15, N 1. P. 34—43.
13. Mason S. J. Feedback Theory — further properties of signal flow graphs // Proc. of the IRE. 1956. July. P. 920—926.
14. Lotfi A. Zadeh, Charles A. Desoer Linear System Theory: the State Space Approach. N. Y.: Dover Publications, 2008. 656 p.
15. Perkins W. R., Cruz J. B., Gonzales R. L. Design of minimum sensitivity systems // IEEE Transact. on Automatic Control. 1968. Vol. AC-13, N 2. P. 159—167.

Сведения об авторах

- Нина Александровна Вундер** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра систем управления и информатики; E-mail: polinova_nina@mail.ru
- Мадина Мансуровна Синетова** — аспирант; Университет ИТМО; кафедра систем управления и информатики; E-mail: sinetovamadina@gmail.com
- Анатолий Владимирович Ушаков** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра систем управления и информатики

Поступила в редакцию
21.03.17 г.

Ссылка для цитирования: Вундер Н. А., Синетова М. М., Ушаков А. В. Анализ чувствительности непрерывных систем с включенным по схеме Смита последовательным компенсатором к вариациям ординарных параметров // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 3. С. 202—209.

**ANALYSIS OF SENSITIVITY OF CONTINUOUS SYSTEMS
WITH CONSECUTIVE COMPENSATOR INCLUDED ACCORDING
TO THE SMITH SCHEME TO ORDINARY PARAMETERS VARIATIONS**

N. A. Vunder, M. M. Sinetova, **A. V. Ushakov**

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: polinova_nina@mail.ru

The Smith scheme of including a consecutive compensator in the direct branch of a designed system is considered. The scheme is used as an effective way of solving the problem of removing the link of pure delay beyond the closed loop of the system to ensure its stability regardless to the delay magnitude. The system property is based on additive signal compensation, which is not a robust procedure. A correct implementation of the procedure requires an accurate knowledge of the delay value and ordinary parameters of the polynomial part of the plant transfer function. Sensitivity of processes in the projected system to the deviation of ordinary parameters from their nominal values is analyzed.

Keywords: plant, pure delay link, consecutive compensator, Smith scheme, sensitivity of processes to parameters variation

Data on authors

- Nina A. Vunder** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Control Systems and Informatics; E-mail: polinova_nina@mail.ru
- Madina M. Sinetova** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Control Systems and Informatics; E-mail: sinetovamadina@gmail.com
- Anatoly V. Ushakov** — Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Control Systems and Informatics

For citation: Vunder N. A., Sinetova M. M., Ushakov A. V. Analysis of sensitivity of continuous systems with consecutive compensator included according to the Smith scheme to ordinary parameters variations. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 3. P. 202—209 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-3-202-209