

DOI: 10.18721/JCSTCS.12411
УДК 681.51.11

СИНТЕЗ ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА ПЕРЕОБОРУДОВАНИЕМ С УЧЁТОМ ЗАДЕРЖКИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ

В.М. Филиповский¹, Н.Л. Полюга², Б.Б. Мухамбедьяров²

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

² Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрена методика синтеза дискретного регулятора электромеханической системы методами переоборудования: Эйлера, обратных разностей, Тастина. Проведен сравнительный анализ полученных дискретных систем. На основе результатов экспериментов, выполненных в среде Simulink, показана необходимость учёта времени запаздывания в цифровом вычислительном устройстве еще на этапе синтеза непрерывного регулятора. Представлены сравнительные зависимости показателей качества синтезированной системы от интервала квантования T дискретной части системы автоматического управления при различных методах переоборудования. Показано, что с увеличением интервала квантования в дискретной системе возрастает перерегулирование. С ростом T наблюдается увеличение запаздывания реакции дискретной системы на единичную ступенчатую функцию по отношению к реакции непрерывной системы. Наилучшие показатели получены при переоборудовании регулятора методом обратных разностей, наихудшие – методом Эйлера.

Ключевые слова: электромеханическая система, двигатель постоянного тока, переоборудование, дискретный регулятор, задержка, показатели качества.

Ссылка при цитировании: Филиповский В.М., Полюга Н.Л., Мухамбедьяров Б.Б. Синтез дискретного регулятора переоборудованием с учётом задержки в вычислительном устройстве // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 4. С. 136–144. DOI: 10.18721/JCSTCS.12411

Статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

SYNTHESIS OF THE DISCRETE REGULATOR BY RE-EQUIPMENT METHOD TAKING INTO ACCOUNT THE DELAY IN A COMPUTER DEVICE

V.M. Filipovskii¹, N.L. Polyuga², B.B. Mukhambedyarov²

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation;

² St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russian Federation

The technique of synthesis of a discrete regulator of an electromechanical system by the methods of re-equipment is considered: Euler, inverse differences, Tustin. A comparative analysis of the discrete systems obtained was carried out. Based on the results of experiments performed in the Simulink environment, the necessity of taking into account the lag time in a digital computing device at the stage of synthesis of a

continuous regulator is shown. The comparative dependences of the quality indicators of the synthesized system on the quantization interval T of the discrete part of the automatic control system with different methods of conversion are presented. It is shown that with an increase in the quantization interval in a discrete system, the overshoot increases. With the growth of T , there is an increase in the delay in the reaction of a discrete system to a single step function with respect to the reaction of a continuous system. The best results are obtained by the conversion of the regulator using the method of inverse differences, the worst – the Euler method.

Keywords: electromechanical system, DC motor, re-equipment, discrete controller, delay, quality indicators.

Citation: Filipovskii V.M., Polyuga N.L., Mukhambedyarov B.B. Synthesis of the discrete regulator by re-equipment method taking into account the delay in a computer device. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2019, Vol. 12, No. 4, Pp. 136–144. DOI: 10.18721/JCSTCS.12411

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

При построении систем автоматического управления важную роль играют корректирующие устройства (регуляторы), необходимые для придания системам желаемых статических и динамических характеристик. В современных системах управления вместо аналоговых применяются цифровые регуляторы, реализованные с помощью микропроцессоров, микроконтроллеров, бортовых компьютеров, программируемых логических контроллеров, благодаря их преимуществам [1]:

- отсутствует дрейф параметров элементов регулятора;
- имеется возможность реализации сложных алгоритмов с очень высокими массогабаритными показателями;
- для изменения алгоритма управления достаточно изменить программу и загрузить её в цифровое устройство.

Однако любая дискретная система имеет важный параметр – интервал квантования T , с которым связана другая особенность цифровой системы: задержка между моментом поступления сигнала на аналогово-цифровой преобразователь вычислительного устройства и появлением управляющего воздействия на его выходе вследствие конечного времени вычисления данного воздействия [2]. Отдельные вопросы, связанные с временной задержкой в дискретной системе, рассмотрены в [2–8].

В работах [6, 9] показаны методики синтеза цифровой системы заменой непрерывного регулятора дискретным эквивалентом. По принятой терминологии [9, 10] данный метод называется *переоборудованием*. При этом не рассмотрен синтез цифрового регулятора с учётом временного запаздывания в вычислительном устройстве, не проведен сравнительный анализ синтезированных систем при различных способах переоборудования.

В настоящей работе предложена методика учёта временной задержки при синтезе дискретного регулятора электромеханической системы. Также исследовано влияние величины интервала квантования в вычислительном устройстве на качество дискретных систем при разных методах переоборудования: Эйлера, обратных разностей, Тастина.

Постановка задачи синтеза дискретных систем управления

Математическая модель непрерывной электромеханической системы. В качестве объекта управления рассматривается электрический двигатель постоянного тока с силовым преобразователем [4–6].

Объект управления, в соответствии со структурной схемой (рис. 1), описывается передаточной функцией (ПФ):

$$W_o(s) = \frac{k_{\Pi} k_M}{(J R_{\text{я}} T_{\text{я}} s^2 + J R_{\text{я}} s + k_E k_M)(1 + T_{\Pi} s)}. \quad (1)$$

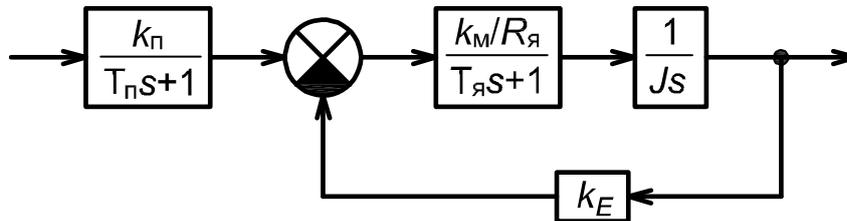


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

Fig. 1. Structural scheme of control object

Если обозначить:

$$T_M = \frac{J R_я}{k_E k_M}, \quad (2)$$

то выражение (1) можно записать в виде:

$$W_o(s) = \frac{k_n / k_E}{(T_M T_я s^2 + T_M s + 1)(T_n s + 1)}, \quad (3)$$

или

$$W_o(s) = \frac{k_n / k_E}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)(T_n s + 1)}, \quad (4)$$

которое с учётом численных значений параметров системы (рис. 1):

$$k_n = 20, J = 0,05, R_я = 0,01 \text{ Гн}, \\ k_E = 1, k_M = 1, R_я = 1,$$

$$T_я = \frac{L_я}{R_я} = 0,01 \text{ с}, T_n = \frac{1}{150} = 0,0067 \text{ с}, T_M = 0,05 \text{ с}$$

может быть записано как

$$W_o(s) = \frac{20}{(1 + 0,0362s)(1 + 0,0138s)(1 + 0,0067s)}. \quad (5)$$

Синтез цифровой системы методом переоборудования

Рассматриваемый метод синтеза дискретного регулятора, именуемый переоборудованием, предполагает преобразование регулятора, синтезированного для непрерывной системы, в дискретную форму.

Настройка непрерывной системы на модульный оптимум. Критерием синтеза регулятора для непрерывной системы выбрана настройка последней на модульный оптимум (МО).

Желаемая передаточная функция разомкнутой системы, настроенной на МО, должна иметь вид [12]:

$$W_{MO}(s) = \frac{1}{2T_\mu s(1 + T_\mu s)}, \quad (6)$$

где T_μ – сумма малых постоянных времени системы управления.

При этом передаточная функция регулятора при выбранной настройке определяется как

$$W_p(s) = \frac{k_E(1 + T_1 s)}{2k_n T_\mu s}. \quad (7)$$

При определении ПФ регулятора постоянные времени объекта управления (см. выражение (5)) были разделены на большие и малые. Большой выбрана постоянная T_1 , а к малым отнесены T_2 и T_n , которые в синтезированной системе представлены эквивалентной постоянной $T_\mu = T_2 + T_n$; $T_\mu = 0,0205 \text{ с}$.

С целью проверки правильности настройки выполнено моделирование синтезированной системы. Переходная характеристика, изображенная на рис. 2, определяется следующими показателями: перерегулирование σ составляет 4,6 %, время переходного процесса $t_{пп}$ равняется 0,171 с = 8,34 T_μ , а время первого согласования ($t_{пс}$) 0,089 с = 4,34 T_μ . Показатели качества замкнутой системы незначительно отличаются от теоретических ($\sigma = 4,3 \%$, $t_{пп} = 8,4T_\mu$, $t_{пс} = 4,7T_\mu$), что свидетельствует о правильной настройке системы.

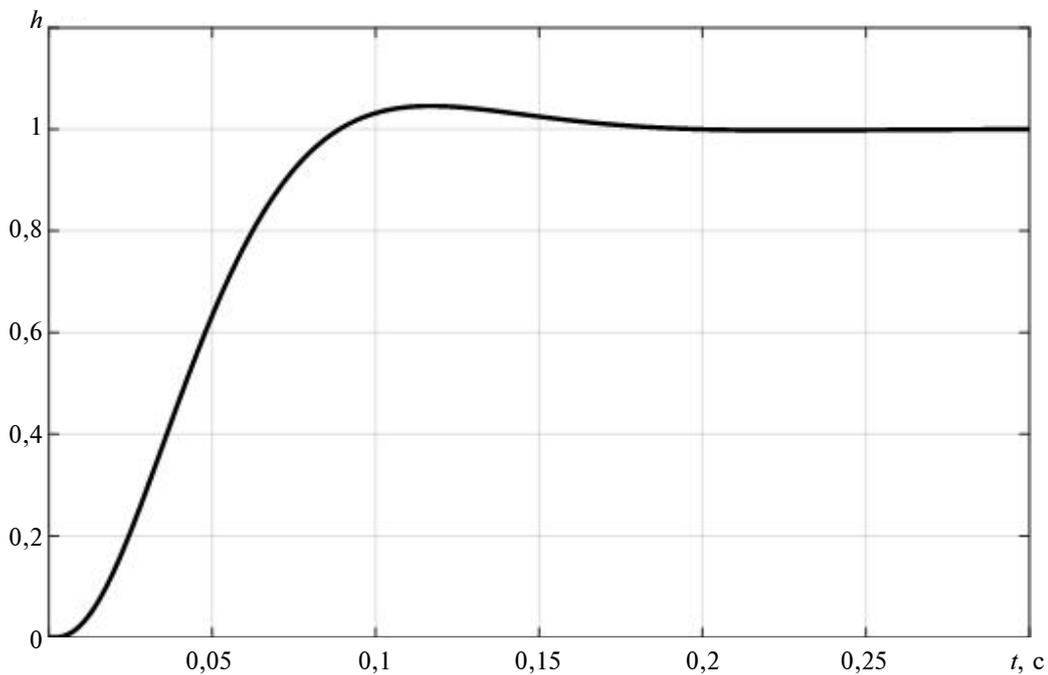


Рис. 2. Переходная характеристика синтезированной системы
 Fig. 2. Transient characteristic of the synthesized system

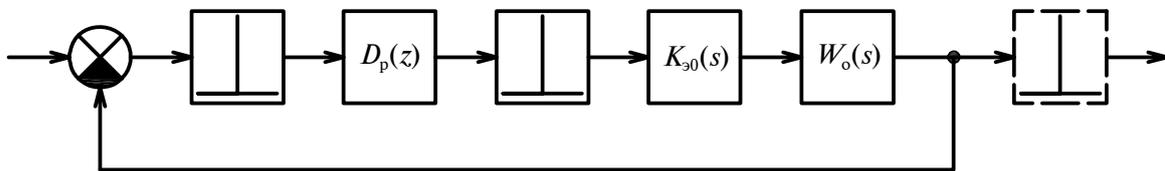


Рис. 3. Структурная схема дискретной системы автоматического управления
 Fig. 3. Structural scheme of the automation control discrete system

В реальной дискретной системе регулятор обычно реализуется на базе цифрового бортового компьютера или микроконтроллера, в котором имеет место задержка между моментом поступления сигнала на аналогово-цифровой преобразователь вычислительного устройства и появлением управляющего воздействия на его выходе вследствие конечного времени вычисления данного воздействия, соответствующего интервалу квантования T дискретной системы.

Следовательно, эту задержку необходимо заранее учесть в передаточной функции объекта, при синтезе непрерывного регулятора. В объекте управления с ПФ (1)–(5) её можно в простейшем случае представить

дополнительным аperiodическим звеном с постоянной времени, равной T , которая увеличивает значение суммы малых постоянных T_{μ} . С учетом сказанного выше ПФ регулятора примет вид:

$$W_p(s) = \frac{k_E(1 + T_1s)}{2k_{\Pi}(T_{\mu} + T)s} \quad (8)$$

Пересчет математической модели непрерывного регулятора к дискретному виду. Математическая модель дискретной системы (рис. 3) будет иметь ту же структуру, что и непрерывная модель замкнутой электро-механической системы.

Отличием является дискретный регулятор (ДР) вместо непрерывного, присут-

ствии двух квантователей на входе и выходе цифрового регулятора, экстраполятора нулевого порядка и квантователя на выходе непрерывного объекта.

ДР будет получен из (8) методами переоборудования. Задача переоборудования состоит в том, чтобы заменить спроектированный непрерывный регулятор цифровым устройством так, чтобы сохранить все существенные свойства непрерывной системы (устойчивость, точность, быстродействие).

Методы переоборудования основаны на приближённой замене интегрирующего звена с передаточной функцией $1/s$ его дискретной моделью. В зависимости от способа вычисления определённого интеграла получают соответствующие методы переоборудования.

Правило для дискретизации аналогового регулятора методом переоборудования в общем случае имеет вид:

$$D_p(z) = W_p(s) \Big|_{s=I(z)},$$

где $I(z)$ – выражение, на которое заменяется s в ПФ непрерывного регулятора.

В работе использованы следующие методы переоборудования: метод Эйлера, метод обратных разностей, метод Тастина.

Метод Эйлера заключается в том, что в ПФ регулятора s необходимо заменить на выражение $s \rightarrow \frac{z-1}{T}$.

При переоборудовании методом обратных разностей необходимо воспользоваться заменой $s \rightarrow \frac{z-1}{zT}$.

При синтезе методом Тастина $s \rightarrow \frac{2z-1}{Tz+1}$.

После переоборудования приведёнными методами соответственно получают передаточные функции дискретного регулятора:

$$D_p(z) = \frac{k_E (T_1 z + T - T_1)}{2k_{II} (T_\mu + T)(z-1)}, \quad (9)$$

$$D_p(z) = \frac{k_E ((T_1 + T)z - T_1)}{2k_{II} (T_\mu + T)(z-1)}, \quad (10)$$

$$D_p(z) = \frac{k_E ((T + 2T_1)z + T - 2T_1)}{4k_{II} (T + T_\mu)(z-1)}. \quad (11)$$

Передаточные функции дискретных регуляторов без учёта задержки могут быть получены обнулением T в знаменателе соответствующей передаточной функции дискретного регулятора (9)–(11).

Исследование синтезированной цифровой электромеханической системы

На первом этапе исследования сравниваются показатели качества системы по переходным характеристикам – перерегулирования, времени переходного процесса, времени первого согласования аналоговой и дискретных систем с ПФ дискретных регуляторов (9)–(11) при следующих значениях интервала квантования: $T = 0,00105$ с (соответствует $0,05T_\mu$) (рис. 4 а); $T = T_\mu$ (рис. 4 б).

На рисунке показано, что с увеличением T наблюдается ухудшение динамики дискретной системы, отчётливо видна задержка в отработке входного сигнала. При $T = T_\mu$ переходные характеристики имеют следующие показатели:

метод Эйлера: $\sigma = 17,9 \%$, $t_{nc} = 0,149$ с, $t_{nn} = 0,43$ с;

метод обратных разностей: $\sigma = 8,5 \%$, $t_{nc} = 0,129$ с, $t_{nn} = 0,31$ с;

метод Тастина: $\sigma = 12,3 \%$, $t_{nc} = 0,139$ с, $t_{nn} = 0,39$ с.

Далее для сравнения показателей качества проведено моделирование аналоговой и дискретных систем с ПФ дискретных регуляторов, синтезированных без учёта задержки, при $T = 0,05T_\mu$ (рис. 5 а) и $T = T_\mu$ (рис. 5 б).

При интервале квантования равном $0,05T_\mu$ все кривые практически совпадают, как и на рис. 4 а. Однако при $T = T_\mu$ кривые существенно отличаются от изображённых на рис. 4 б и имеют следующие показатели:

метод Эйлера: $\sigma = 62,4 \%$, $t_{nc} = 0,09$ с, $t_{nn} = 0,94$ с;

метод обратных разностей: $\sigma = 61 \%$, $t_{nc} = 0,075$ с, $t_{nn} = 0,93$ с;

метод Тастина: $\sigma = 59,2 \%$, $t_{nc} = 0,129$ с, $t_{nn} = 0,92$ с.

Дискретная система с регулятором, рассчитанным без учета времени задержки, при относительно больших T становится существенно колебательной по сравнению с аналоговой системой.

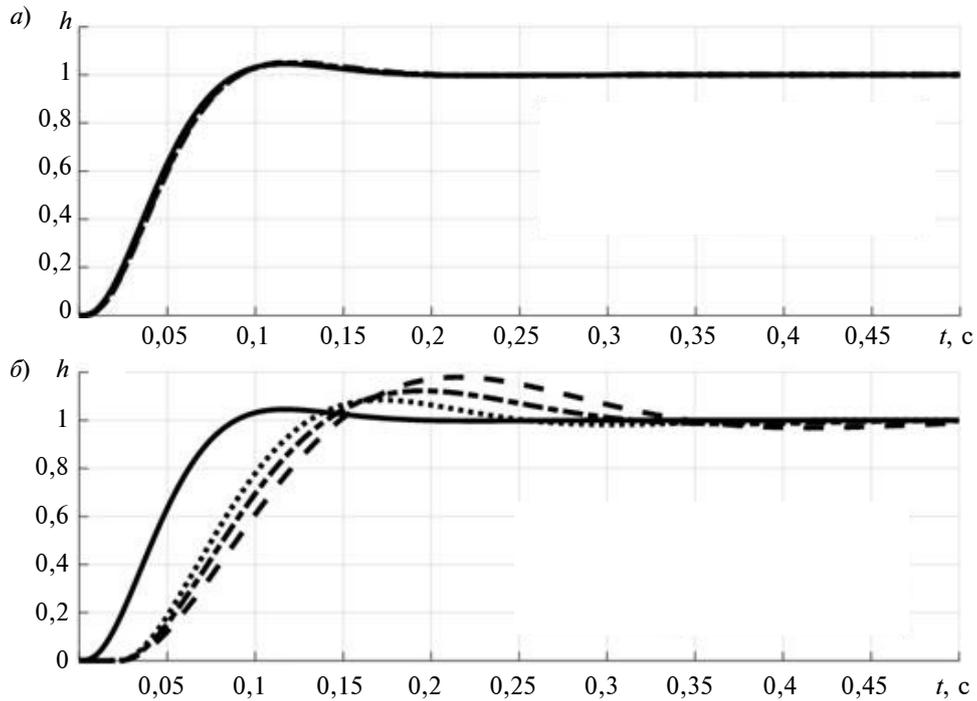


Рис. 4. Переходные характеристики дискретных САУ с учётом задержки в вычислительном устройстве
 (—) — аналоговая система; (---) — метод Эйлера; (.....) — метод обратных разностей;
 (-.-.-) — метод Тастина

Fig. 4. Transient characteristics of automation control discrete systems taking into delay in computing device

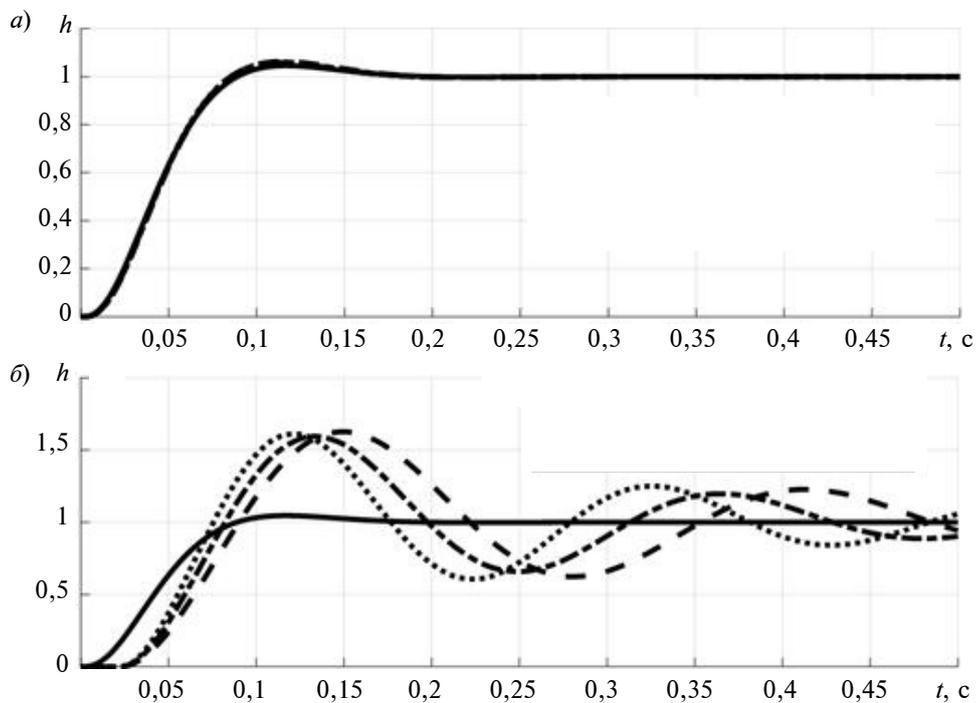


Рис. 5. Переходные характеристики дискретных САУ без учёта задержки в вычислительном устройстве
 (—) — аналоговая система; (---) — метод Эйлера; (.....) — метод обратных разностей;
 (-.-.-) — метод Тастина

Fig. 5. Transient characteristics of automation control discrete systems without taking into delay in computing device

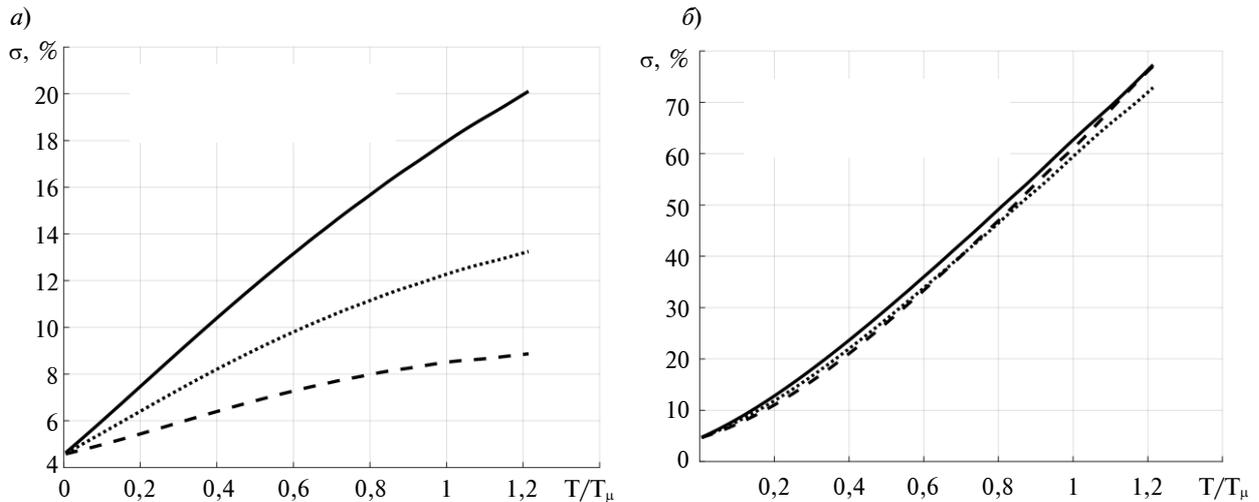


Рис. 6. Зависимости перерегулирования от интервала квантования в дискретных САУ

(—) — метод Эйлера; (- -) — метод обратных разностей; (.....) — метод Тастина

Fig. 6. Dependences of overshoot from quantization interval in automation control discrete systems

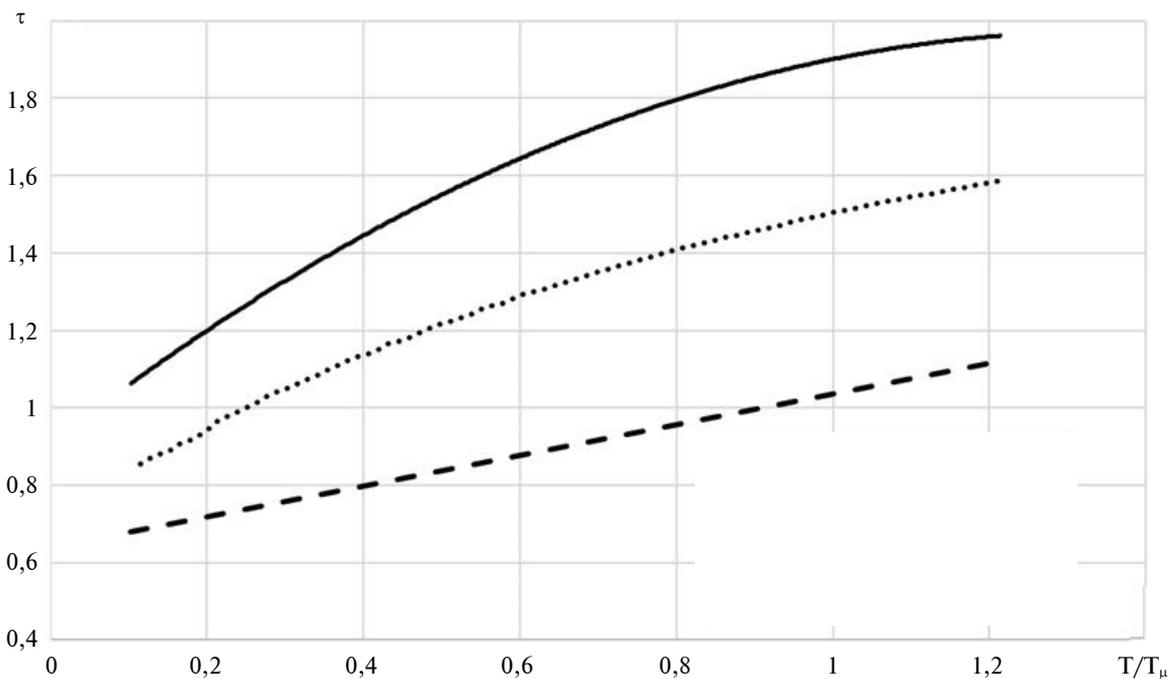


Рис. 7. Запаздывание реакции дискретной системы

(—) — метод Эйлера; (- -) — метод обратных разностей; (.....) — метод Тастина

Fig. 7. Delay of response of discrete system

Следующий этап исследования представляет собой более подробное изучение влияния величины T на показатели качества у системы с передаточными функциями регуляторов (9)–(11). При моделировании интервал квантования в цифровой

системе изменялся от $T = 0,005T_\mu$ до $1,2T_\mu$. Показаны графики зависимости σ от T/T_μ (рис. 6 а). Для сравнения представлены (рис. 6 б) графики для систем, полученных без учёта времени запаздывания при синтезе регулятора.

На рис. 6 б при увеличении T наблюдаются большие σ , что недопустимо. Причём данные показатели, полученные разными методами, отличаются незначительно по сравнению с величинами на рис. 6 а.

Также представлены (рис. 7) кривые зависимости относительного запаздывания τ переходной характеристики дискретной системы ($t_{пс.дс}$) по отношению к непрерывной ($t_{пс.ас}$). Этот показатель определяется выражением:

$$\tau = \frac{t_{пс.дс} - t_{пс.ас}}{T}$$

Видно, что запаздывание реакции дискретной системы возрастает с увеличением интервала квантования. Наибольшее запаздывание наблюдается у системы с регулятором, полученным методом Эйлера, наименьшее – методом обратных разностей.

Выводы

Из полученных результатов следует, что если интервал квантования $T \ll T_u$, то показатели качества дискретной системы практически совпадают с показателями аналоговой независимо от метода переоборудования и учёта задержки при синтезе цифрового регулятора.

С увеличением T наблюдается ухудшение качества дискретной системы по отношению к аналоговой. В системе, где регулятор синтезирован с учётом времени задержки, увеличение значений показателей качества пе-

реходной характеристики (перерегулирования, времени первого согласования) относительно показателей непрерывной системы при изменении интервала квантования носит практически линейный характер. При $T = T_u$ перерегулирование возрастает до 18 % (метод Эйлера). Наилучший показатель у системы, переоборудованной методом обратных разностей ($\sigma \approx 8,5\%$). Имеет место запаздывание реакции дискретной системы на единичную ступенчатую функцию по отношению к реакции непрерывной системы. Причём данное запаздывание наибольшее для системы, где регулятор получен методом Эйлера (достигает $2T$), и наименьшее, когда переоборудование выполнено методом обратных разностей ($\approx T$).

Если провести синтез регулятора без принятия во внимание временной задержки вычислительного устройства, то в дискретной системе с ростом T наблюдается существенное ухудшение показателей качества по переходным характеристикам по сравнению с рассматриваемой в работе системой (когда задержка в регуляторе учтена): значительно возрастают перерегулирование и время переходного процесса, система становится более колебательной.

Таким образом, система с регулятором, полученным методом обратных разностей, имеет наилучшие показатели качества. Время запаздывания в вычислительном устройстве крайне необходимо учитывать при синтезе цифрового регулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.
2. Gielen R.H. Stability analysis and control of discrete-time systems with delay. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2013. 169 p. DOI: 10.6100/IR747896.
3. Haugen F. Discrete-time signals and systems. Skien: TechTeach, 2005. 75 p.
4. Bedoui S., Ltaief M., Abderrahim K. New results on discrete-time delay systems identification // Internat J. of Automation and Computing. 2012. No.9(6). Pp. 570–577. DOI: 10.1007/s11633-012-0681-x.
5. Debeljkovic D.L., Stojanovic S.B. The stability of linear discrete time delay systems in the sense of Lyapunov: An overview // Scientific Technical Review. 2010. Vol. 60. No. 3–4. Pp. 67–81.
6. H'Mida B., Sahbi M., Dhaou S. Discretizing of linear systems with time-delay using method of Euler's and Tustin's approximations // Internat. J. of Engineering Research and Applications. 2015. Vol. 5. No. 3. Pp. 83–89.
7. Stojanovic S.B., Debeljkovic D.L., Dimitrijevic N. Stability of discrete-time systems with time-varying delay: Delay decomposition approach // Internat. J. of Computers, Communications and Control. 2012. Vol. 7. No. 4. Pp. 776–784.
8. Silva L.F.P., Leite V.J.S., Castelan E.B., Lopes A.N.D. Stability and controller design for T-S fuzzy discrete-time systems with time-varying delay in the state // 2018 IEEE Internat. Conf. on Fuzzy Systems. Rio de Janeiro, 2018. Pp. 1–7. DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491660.
9. Бобиков А.И., Борисов М.М. Построение цифровых регуляторов путем переоборудования непрерывных регуляторов // Сб. тр. II Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 8 т. Т. 4. Рязань, 2018. С. 58–62.

10. Поляков К.Ю. Полиномиальный синтез оптимальных цифровых следящих систем. I // *АиТ*. 2001. № 2. С. 149–182.

11. Полюга Н.Л., Филиповский В.М. Цифровой регулятор в системах автоматического управления // *Информатика и кибернетика: сб. докладов студенческой науч. конф. Института*

компьютерных наук и технологий. СПб., 2016. С. 133–137.

12. Кояин Н.В., Мальцева О.П., Удут Л.С. Оптимизация контуров регулирования систем электропривода по типовым методикам // *Известия Томского политехнического университета*. 2005. Т. 308. № 7. С. 120–125.

Статья поступила в редакцию 06.05.2019.

REFERENCES

1. Olsson G., Piani D. *Tsifrovyye sistemy avtomatizatsii i upravleniya [Digital automation and control systems]*. St. Petersburg: Nevskiy Dialect Publ., 2001, 557 p. (rus)

2. Gielen R.H. *Stability analysis and control of discrete-time systems with delay*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2013, 169 p. DOI: 10.6100/IR747896.

3. Haugen F. *Discrete-time signals and systems*. Skien: TechTeach, 2005. 75 p.

4. Bedoui S., Ltaief M., Abderrahim K. New results on discrete-time delay systems identification. *International Journal of Automation and Computing*, 2012, No. 9 (6), Pp. 570–577. DOI: 10.1007/s11633-012-0681-x.

5. Debeljkovic D.L., Stojanovic S.B. The stability of linear discrete time delay systems in the sense of Lyapunov: An overview. *Scientific Technical Review*, 2010, Vol. 60, No. 3–4, Pp. 67–81.

6. H'Mida B., Sahbi M., Dhaou S. Discretizing of linear systems with time-delay using method of Euler's and Tustin's approximations. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2015, Vol. 5, No. 3, Pp. 83–89.

7. Stojanovic S.B., Debeljkovic D.L., Dimitrijevic N. Stability of discrete-time systems with time-varying delay: Delay decomposition approach. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 2012, Vol. 7, No. 4, Pp. 776–784.

8. Silva L.F.P., Leite V.J.S., Castelan E.B., Lopes A.N.D. Stability and controller design for T-S fuzzy discrete-time systems with time-varying delay in the state. *2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 8–13 July 2018, Rio de Janeiro, Pp. 1–7. DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491660.

9. Bobikov A.I., Borisov M.M. Postroyeniye tsifrovyykh regulyatorov putem pereoborudovaniya nepreryvnykh regulyatorov [Construction of digital controllers by conversion of continuous controllers]. *Proceedings of 2nd International Scientific Technical and Scientific Methodical Conference on Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii*. Ryazan, 2018, Vol. 4, Pp. 58–62. (rus)

10. Polyakov K.Yu. Polinomialnyy sintez optimalnykh tsifrovyykh sledyashchikh sistem. I. [Polynomial Design of Optimal Sampled-Data Tracking Systems. I]. *Automation and Remote Control*, 2001, No. 2, Pp. 149–182. (rus)

11. Polyuga N.L., Filipovskiy V.M. Tsifrovoy regulyator v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya [Digital controller in automatic control systems]. *Informatika i kibernetika. ComCon-2016*, St. Petersburg, 3–8 April 2016, Pp. 133–137. (rus)

12. Koyain N.V., Maltseva O.P., Uдут L.S. Optimizatsiya konturov regulirovaniya sistem elektroprivoda po tipovym metodikam [Optimization of control circuits of electric drive systems by typical methods]. *Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta*. 2005, Vol. 308, No. 7, Pp. 120–125. (rus)

Received 06.05.2019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ФИЛИПОВСКИЙ Владимир Михайлович

FILIPOVSKIY Vladimir M.

E-mail: fil@icc.spbstu.ru

ПОЛЮГА Николай Любомирович

POLYUGA Nikolay L.

E-mail: van-der-gan@mail.ru

МУХАМБЕДЬЯРОВ Бекбол Бокейханович

MUKHAMBEDYAROV Bekbol B.

E-mail: space_line93@mail.ru