

4. *Samoylov L.K.* The account of influence of time delays of processing of signals in digital control systems" in The 2nd Chaotic Modeling and Simulation International Conference, Chania, 1-5 June 2009.
5. *Самойлов Л.К.* Динамические погрешности аналоговых мультиплексоров // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 2 (115). – С. 118-122.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Я.Е. Ромм.

Самойлов Леонтий Константинович – Технологический институт федерального автономного государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: samoilov@tti.fep.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634311193; д.т.н.; профессор.

Samoilov Leonty Konstantinovich – Taganrog Institute of Technological – Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University"; e-mail: samoilov@tti.fep.sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +786343111193; dr. of eng. sc.; professor

УДК 681.51.01

А.В. Семенов, А.Р. Гайдук

СИНТЕЗ ДИСКРЕТНЫХ НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ

Рассматривается синтез двумерного устройства управления электромеханической дискретной следящей системы по заданным показателям качества. Введена классификация дискретных неминимально-фазовых одномерных объектов управления. Предложен метод синтеза дискретных неминимально-фазовых астатических следящих систем с многомерным устройством управления. Метод позволяет обеспечить показатели качества синтезируемой неминимально-фазовой следящей системы в переходном и в установившемся режиме не хуже заданных. Рассмотрен численный пример синтеза дискретной астатической системы управления неминимально-фазовым объектом.

Следящая система; неминимально-фазовый; двумерное устройство; цифровой; управление; показатели качества.

A.V. Semenov, A.R. Gaiduk

SYNTHESIS OF DISCRETE NONMINIMUM-PHASE TRACKING LOOP SYSTEM

Synthesis of two degree of freedom control device of discrete tracking loop system by specified quality parameters is investigated in the given paper. Classification of nonminimum-phase one-dimensional control object is suggested. Method of synthesis of discrete nonminimum-phase astatic tracking loop systems with multivariable control device is offered. The method provides specified quality parameters of synthesized tracking loop system both for transient and stable mode. Example of synthesis of discrete astatic tracking loop system of nonminimum-phase object is described.

Tracking loop; nonminimum-phase; two degree of freedom; digital; control; control quality.

Рассматриваемая в данной работе электромеханическая следящая система (СС) предназначена для угловых перемещений некоторого объекта – нагрузки. Функциональная схема системы приведена на рис. 1, где: ИП – измерительный преобразователь; ЦУУ – цифровое устройство управления; ЦИ – цифровой инвертор, ИД – исполнительный двигатель, Р – редуктор.

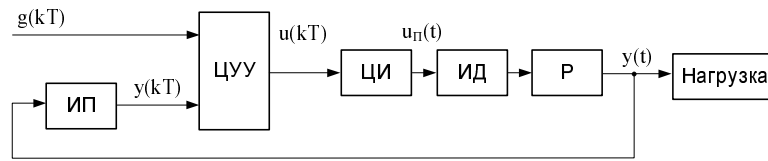


Рис. 1. Функциональная схема следящей системы

Необходимо синтезировать ЦУУ по заданным показателям качества: замкнутая система должна обладать астатизмом первого порядка $v_g^* = 1$ к задающему воздействию g ; перегулирование σ должно отсутствовать; время регулирования t_p^* по задающему воздействию не должно превышать 1,5 с.

В работе предполагается, что на вход ЦУУ поступают сигналы: задающее воздействие g и управляемая переменная y [1, 2]. Такое устройство управления является двумерным. Выходная переменная системы y измеряется потенциометрическим датчиком с аналого-цифровым преобразователем. С выхода ЦУУ управление u поступает на объект управления (ОУ), состоящий из ЦИ, ИД и редуктора с нагрузкой. Для синтеза цифровых регуляторов, реализуемых на современных микропроцессорах и специализированных ЭВМ, необходимы дискретные модели ОУ $W_{yu}(z)$, которые получаются путем Z_T -преобразования передаточных функций $W_{yu}(p)$ непрерывных объектов управления при некотором периоде дискретизации T [2]:

$$W_{yu}(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W_{yu}(p)}{p} \right\} = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{A(p)}{pB(p)} \right\}, \quad (1)$$

где $Z_T \{ \bullet \}$ – обозначение Z_T -преобразования.

Обозначим $n = \deg A(z)$, $m = \deg B(z)$. Равенству (1) соответствует следующее уравнение вход-выход дискретного объекта управления (ДОУ):

$$A(z)y(z) = B(z)u(z). \quad (2)$$

Согласно рис. 1, уравнение ЦУУ с учетом запаздывания на период запишется так

$$R(z)u(z) = Q(z)z^{-1}g(z) - L(z)z^{-1}y(z), \quad (3)$$

где $R(z)$, $Q(z)$, $L(z)$ – некоторые полиномы, которые должны быть найдены в результате решения задачи синтеза [1]. Множитель $1/z$ в правой части (3) учитывает запаздывание на такт, возникающее в ЦУУ из-за затрат времени на вычисление и передачу в ЦИ текущего отчета управления u_k .

Условие физической реализуемости ЦУУ принято в виде

$$\deg R(z) - \deg L(z) \geq 1, \quad \deg R(z) - \deg Q(z) \geq 1. \quad (4)$$

ДОУ могут быть минимально-фазовыми и неминимально-фазовыми [1, 3]. Причем неминимально-фазовость объектов управления может возникать по различным причинам. Для большей ясности введем следующую классификацию дискретных неминимально-фазовых одномерных объектов управления (1), (2):

- ◆ неминимально-фазовые первого рода – неустойчивые объекты управления, с нулями по управлению меньше 1 по модулю, т.е.

$$|z_i^B| < 1, \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

где z_i^B – корни полинома $B(z)$;

- ◆ неминимально-фазовые второго рода – передаточная функция (1) является дробно-иррациональной или трансцендентной;
- ◆ неминимально-фазовые третьего рода – полином $A(z)$ устойчивый или неустойчивый, а полином $B(z)$ имеет хотя бы один нуль по модулю больше единицы, т.е.

$$|z_i^B| > 1, \quad i \in [1, m]. \quad (6)$$

Если ОУ (1), (2) является неминимально-фазовым первого рода, то никаких особенностей при синтезе дискретных систем с управлением по выходу и воздействиям не возникает, так как все нули полинома $B(z)$ могут быть включены в число желаемых корней характеристического полинома синтезируемой системы. Именно поэтому не возникает никаких проблем при синтезе САУ неминимально-фазовыми ОУ первого рода.

Если же ОУ (1), (2) является неминимально-фазовым третьего рода, то этот факт необходимо учитывать при решении задачи синтеза, так как замкнутая система управления обязательно получится тоже неминимально-фазовой. В этом случае полином $B(z)$ представляется в виде

$$B(z) = \beta_m B_\Omega(z) B_{\bar{\Omega}}(z), \quad (7)$$

где β_m – коэффициент при старшей степени z полинома $B(z)$; $B_\Omega(z) \in \Omega$, $B_{\bar{\Omega}}(z) \notin \Omega$, где Ω – область допустимого по требованиям к качеству синтезируемой системы расположения корней характеристического полинома указанной системы. Для учета качества синтезируемой системы предлагается формировать желаемую передаточную функцию, которая для случая неминимально-фазового ДОУ третьего рода имеет вид [2]

$$W_{жс}(z) = \frac{y(z)}{g(z)} = \frac{B_{\bar{\Omega}}(z)P(z)}{H(z)z^k}, \quad (8)$$

где $P(z)$ и $H(z)$ – некоторые полиномы, а k – целое число.

Функция $W_{жс}(z)$ (8) определяется по передаточной функции $W_{жс}(p)$ вспомогательной непрерывной системы, порядок астатизма которой к задающему воздействию V_g равен заданному порядку астатизма синтезируемой системы, а время регулирования t_p и перерегулирование σ несколько меньше заданных значений этих показателей для проектируемой дискретной системы (2), (3) с ЦУУ.

В результате Z_T -преобразования передаточной функции $W_{жс}(p)$ получают полиномы $H_0(z)$ и $H(z)$, а полином $P(z)$ в выражении (8) выбирается таким, чтобы желаемая передаточная функция $W_{жс}(z)$ удовлетворяла условиям астатизма порядка $v_g^* = 1$ к задающему воздействию, а также обеспечивались заданные перерегулирование и время регулирования. При этом могут несколько измениться коэффициенты полинома $H(z)$. Полиномы $R(z)$, $Q(z)$ и $L(z)$ из уравнения ЦУУ (3) определяются путем приравнивания $W_{жс}(z)$ и передаточной функции замкнутой системы (2), (3). При этом для выполнения условий физиче-

ской реализуемости передаточной функции $W_e(z)$ ее числитель и знаменатель умножаются на полином $B_\Omega(z)z^\mu$, так как структура синтезируемой системы частично задана [2]. В результате получим уравнение

$$\frac{B(z)Q(z)}{zA(z)R(z) + B(z)L(z)} = \frac{B_\Omega(z)\Pi(z)B_\Omega(z)z^\mu}{H(z)B_\Omega(z)z^{\mu+k}}, \quad (9)$$

где z^μ – вспомогательный множитель, μ и k – определяются в процессе синтеза.

Из выражения (9), учитывая выражение (7), получаем полиномиальное уравнение вида

$$zA(z)B_\Omega^{-1}(z)R(z) + \beta_m B_\Omega(z)L(z) = H(z)z^{\mu+k}. \quad (10)$$

Из условия равенства числителей в (9) с учетом выражения (7) вытекает следующее соотношение для определения полинома $Q(z)$ ЦУУ:

$$Q(z) = \beta_m^{-1} \Pi(z)z^\mu. \quad (11)$$

Так как в левой части (10) полином, то правая часть тоже должна быть полиномом. Отсюда следует, что полином $R(z)$ должен иметь вид $R(z) = B_\Omega(z)\tilde{R}(z)$.

Число интеграторов, которые дополнительно необходимо ввести в ЦУУ определяется выражением $\nu_R = \max\{\nu_g^* - \nu_A, 0\}$. Здесь ν_A – число интеграторов, входящих в состав объекта управления. Учитывая вышесказанное, а также условие $\mu + k \geq 1$, запишем полиномы уравнения (10) следующим образом

$$\bar{A}(z) = (z-1)^{\nu_R} A(z), \quad R(z) = (z-1)^{\nu_R} B_\Omega(z)\tilde{R}(z), \quad L(z) = z\tilde{L}(z), \quad (12)$$

где $\bar{A}(z)$, $\tilde{R}(z)$, $\tilde{L}(z)$ – вспомогательные полиномы.

Тогда полиномиальное уравнение (10) с учетом (12) переходит в следующее:

$$\bar{A}(z)\tilde{R}(z) + \beta_m B_\Omega(z)\tilde{L}(z) = D(z), \quad \text{где } D(z) = H(z)z^{\mu+k-1}. \quad (13)$$

При решении полиномиального уравнения (13) степени вспомогательных полиномов $\tilde{R}(z)$ и $\tilde{L}(z)$, а также параметры μ и k определяются с учетом следующих условий:

- ♦ относительный порядок системы с желаемой передаточной функцией замкнутой системы должен быть не меньше относительного порядка заданной части с учетом запаздывания на такт в ЦУУ;
- ♦ степени полиномов $R(z)$ и $Q(z)$ должны быть не больше степени полинома $R(z)$;
- ♦ число коэффициентов полиномов $\tilde{R}(z)$ и $\tilde{L}(z)$ должно быть не меньше числа уравнений в алгебраической системе, эквивалентной полиномиальному уравнению (13);
- ♦ степень полинома в левой части (13) должна быть равна степени полинома в его правой части.

В результате решения полиномиального уравнения (13) определяются полиномы $\tilde{R}(z)$ и $\tilde{L}(z)$, а с учетом выражений (12) и полиномы $R(z)$ и $L(z)$.

Из уравнений (9) и (13) следует, что полином $A(z)$ входит только в полиномиальное уравнение (13). Это уравнение разрешимо, если только полиномы $A(z)$ и $B_\Omega(z)$ не имеют одинаковых или близких друг к другу корней.

Пример. Пусть передаточная функция ОУ имеет вид [4]:

$$W(p) = \frac{K}{p(T_V p + 1)(T_M p + 1)}, \quad (14)$$

где K – коэффициент передачи по скорости; T_V , T_M – электромагнитная и электромеханическая постоянные времени.

Подставив в выражение (14) численные значения параметров $T_V = 0,05$ с; $T_M = 0,7$ с; $K = 1$ и преобразовав передаточную функцию (14) с помощью функции `s2d` из пакета MATLAB при периоде дискретизации $T = 0,1$ с, получим передаточную функцию ДОУ

$$W(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{0,002972z^2 + 0,007505z + 0,001033}{1,0z^3 - 2,002z^2 + 1,12z - 0,1173}. \quad (15)$$

В соответствие с выражением (15) $n = 3$, $m = 2$.

Корни полинома $B(z)$ равны $z_1^B = -2,3791$ и $z_2^B = -0,1462$. Как видно, ДОУ (15) является неминимально-фазовым третьего рода. Поэтому желаемая передаточная функция замкнутой системы будет иметь вид (8).

Для определения $W_{жс}(p)$ из таблиц стандартных передаточных функций по степени $n = 3$, порядку астатизма $v_g = v_g^* = 1$ и перерегулированию $\sigma = \sigma^* = 0$ выбираются коэффициенты Δ_i , $i = \overline{0, n}$ ($\Delta_0 = 1$, $\Delta_1 = 2,39$, $\Delta_2 = 2,05$, $\Delta_3 = 1$) [2], затем рассчитывается временной масштабный коэффициент $\omega_0^* = 4,34 / (1,5 - 0,1) = 2,91$.

Для численных значений коэффициентов Δ_i и ω_0^* , найдем желаемую передаточную функцию вспомогательной непрерывной системы

$$W_{жс}(p) = \frac{29,79}{p^3 + 6,355p^2 + 22,97p + 29,79}. \quad (16)$$

Выполняя Z_T -преобразование в (16) с помощью функции `s2d` системы MATLAB при $T = 0,1$ с, получим полином $H(z)$ желаемой передаточной функции ДОУ (8):

$$H(z) = z^3 - 2,351z^2 + 1,902z - 0,5297. \quad (17)$$

Степень полинома $H(z)$ равна $\eta = \deg H(z) = 3$. Так как степень полинома $\deg \Pi(z) = v_g^* - 1 = 0$ [2], то полином $\Pi(z)$ имеет вид $\Pi(z) = \pi_0$ [5], причем по условиям астатизма $\pi_0 = 0,0064$.

В нашем случае $v_g^* = 1$ и, в соответствие с выражением (14), $v_A = 1$. При этих значениях коэффициентов из уравнений (11), (12) и (13), с учетом $\mu = 1$ и $k = 2$ получены полиномы ЦУУ (3) следующего вида:

$$\begin{aligned} L(z) &= z(\lambda_2 z^2 + \lambda_1 z + \lambda_0) = 5,631z^3 - 5,056z^2 + 0,2775z; \\ R(z) &= B_\Omega(z)(\rho_2 z^2 + \rho_1 z + \rho_0) = z^3 - 0,2026z^2 - 0,008741z + 0,006172; \\ Q(z) &= \beta_m^{-1} p_0 z = 0,853z. \end{aligned}$$

Переходная функция и реакция на линейно нарастающее входное воздействие синтезированной дискретной системы представлены на рис. 2 и 3.

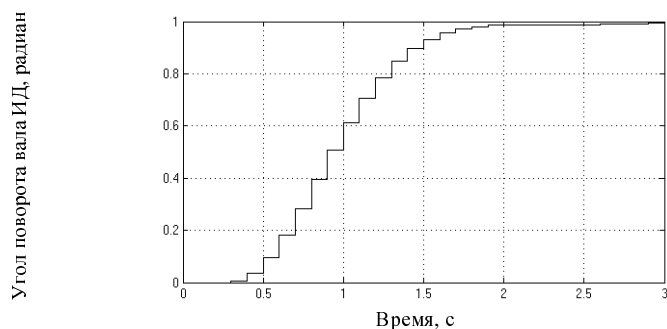


Рис. 2. Переходная функция синтезированной следящей системы

Переходный процесс синтезированной системы, очевидно, не имеет перерегулирования, а его длительность равна 1,5 с; ошибка системы при реакции на воздействие типа «скачок» в установившемся режиме равна нулю.

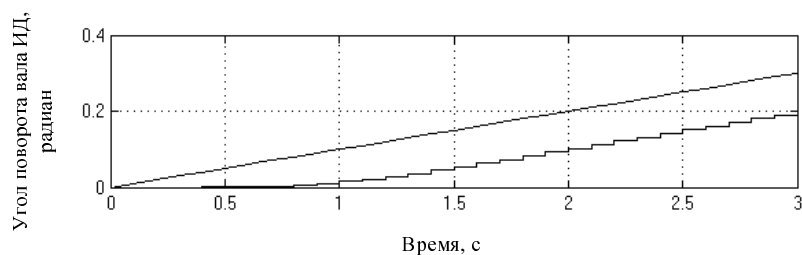


Рис. 3. Реакция системы на линейно нарастающее воздействие

По реакции на линейно нарастающее воздействие (рис. 3) видно, что система имеет постоянную скоростную ошибку, т.е. она является астатической первого порядка по отношению к задающему воздействию.

Таким образом, синтезированная следящая система удовлетворяет всем заданным требованиям.

Изложенный метод синтеза позволяет синтезировать дискретные следящие системы управления для неминимально-фазовых объектов управления первого и третьего рода с заданным порядком астатизма и заданными показателями качества. Например, при заданной (допустимой) скоростной ошибке системы с 1-м порядком астатизма получить требуемое время переходного процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гайдук А.Р. Теория автоматического управления: Учебник. – М.: Высшая школа, 2010. – 415 с.
2. Гайдук А.Р., Беляев В.Е., Пьявченко Т.А. Сборник задач с решениями на ЭВМ по теории автоматического управления: Учебное пособие / Под ред. д.т.н., проф. А.Р. Гаидука. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 466 с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1 Линейные системы. – М.: Физматлит, 2007. – 312 с.
4. Семёнов А.В., Гайдук А.Р., Геложье Ю.А. Математическая модель моментного электропривода // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 5 (94). – С. 251-257.

5. Семенов А.В. Синтез дискретных следящих систем с неминимально-фазовыми объектами управления // IX Всероссийская научная конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление»: Сборник материалов. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – Т. 2. – С. 139-142.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.И. Витиска

Гайдук Анатолий Романович – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: gaiduk_2003@mail.ru; 347904, г. Таганрог, ул. Слесарная, 26, кв. 2; тел.: 88634626287; кафедра систем автоматического управления; д.т.н.; профессор.

Семенов Александр Валерьевич – e-mail: sav-dsp@tsure.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; тел.: 88634312350; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Gaiduk Anatoly Romanovich – Taganrog Institute of Technology - Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: gaiduk_2003@mail.ru; 2, Slesarnaya street, app. 26, Taganrog, 347904, Russia; phone: +78634626287; the department of automatic control systems; dr. of eng. sc.; professor.

Semenov Alexander Valerevich – e-mail: sav-dsp@tsure.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634312350; the department of automatic control systems; postgraduate student.

УДК 621.396

М.К. Чобану

СИСТЕМА СЖАТИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрены особенности систем сжатия динамических изображений в связи с возрастающими требованиями к видеоинформационным системам. Представлены системы ТВ-вещания сегодняшнего и завтрашнего дня, включая системы со многими видами, требования, предъявляемые к современным системам сжатия, включая реализацию многомерного вейвлет-преобразования, а также перспективы развития методов сжатия видеосигналов. Приведены результаты синтеза многомерных неразделимых многоскоростных систем, включая методы синтеза ортогональных и биортогональных вейвлет-систем, и их реализации на цифровых сигнальных процессорах.

Сжатие изображений; многоскоростные системы; вейвлеты.

М.К. Tchobanou

DYNAMIC IMAGES COMPRESSION SYSTEM

The peculiarities of dynamic images compression system due to the increasing demands of video information systems are given. Today TV systems are given, as well as future multi-view systems, the requirements to be met by a modern compression system are presented, including the implementation of multi-dimensional wavelet transform, and the perspectives of modern video coding systems are presented. The results of the synthesis of multidimensional multirate nonseparable systems, including orthogonal and biorthogonal systems, and their implementation on digital signal processors are considered.

Image compression; multirate system; wavelet; digital signal processors.

Следует различать два основных типа сжатия изображений – сжатие данных и сжатие изображений [1]. Сжатие данных сокращает число бит, требуемых для хранения или передачи любого вида данных (числовых, текстовых, двоичных, изображений, звука и т.д.), используя статистические свойства данных. Уменьше-