

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЙ

А. В. Смольянинов, Е. Н. Десятирикова, В. Д. Волков

*Воронежский государственный архитектурно-строительный университет,
Воронежский государственный университет,
Воронежский государственный технический университет*

Поступила в редакцию 13.02.2015 г.

Аннотация. Приводится методика синтеза алгоритма управления динамической системы основанная на структурном синтезе систем управления движением. Предлагаемая методика, за счет отдельного задания требуемого движения отдельных элементов системы, позволяет распространить известные методы на динамические системы, характерной особенностью которых является невозможность получения математической модели в виде одного дифференциального уравнения. Приводятся результаты применения предлагаемой методики для синтеза системы управления асинхронным электроприводом.

Ключевые слова: динамическая система, движение системы, модель системы, алгоритм управления, структурная схема, асинхронный электропривод, частотно-каскадное регулирование.

Annotation. The technique of synthesis of the control algorithm of the dynamic system based on structural synthesis of motion control systems is suggested. The proposed method, due to the separate tasks required motion of the individual elements of the system, allows us to extend the known methods for dynamical systems, the characteristic feature of which is the inability to obtain a mathematical model in the form of a single differential equation. The results of the application of the proposed methodology for the synthesis of asynchronous electric control system are considered.

Keywords: dynamic system, movement of the system, model of the system, control algorithm, a block diagram, asynchronous electric drive, frequency cascade control.

Изначально под динамической системой понималась совокупность конечного числа материальных точек или твёрдых тел, изменяющих свое положение во времени. Однако в настоящее время это понятие существенно расширено, и под динамической системой понимается произвольная система, описываемая дифференциальными уравнениями вида:

$$f(x(t)^{(i)}, \lambda(t)^{(j)}) = u(t), \quad (1)$$

где $x(t)^{(i)}$ – регулируемая величина ($i = 0$) и ее производные ($i = 1..n$), $\lambda(t)^{(j)}$ – возмущающее воздействие, $u(t)$ – управление.

Традиционно при изучении динамических систем особое внимание уделялось анализу их

устойчивости, т. е. способности возвращаться в исходное состояние после прекращения действия возмущающих сигналов. Вместе с тем, наряду с обеспечением устойчивости динамических систем не менее важной задачей является их управляемый перевод между различными состояниями. Последнее обуславливает актуальность решения задач, направленных на поиск методик синтеза алгоритмов управления динамическими системами. Одной из таких методик является методика структурного синтеза [1], базирующаяся на положении, что только старшая производная непосредственно зависит от управляющего воздействия, и, как следствие, определяет движение в системе. Действительно, записав (1) в развернутой форме получим

© Смольянинов А. В., Десятирикова Е. Н., Волков В. Д., 2015

$$\left. \begin{aligned} x'_1 &= x' = x_2 \\ x'_2 &= x'' = x_3 \\ x'_3 &= x''' = x_4 \\ &\dots\dots\dots \\ x'_n &= x^{(n)} = f_1(x(t)^{(i)}, \lambda(t)^{(j)}, u(t)) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где f_1 – решение (1) относительно старшей производной.

Из (2) очевидно, что задать в каждый момент времени можно только старшую производную регулируемой величины, поскольку только она в данный момент времени зависит от управления. При этом задаваемое значение высшей производной должно обязательно соответствовать требуемому движению, т. е. требуемой зависимости высшей производной от фазовых координат объекта, которая определяется из требуемого дифференциального уравнения системы, связывающего регулируемую величину и задающее воздействие. Иными словами, для того, чтобы найти управление объектом, необходимое для реализации требуемого движения, в уравнение объекта вместо старшей производной регулируемой величины необходимо подставить ее значение, которое определяется из требуемого дифференциального уравнения системы.

Поскольку при использовании метода структурного синтеза реализуется движение системы согласно задаваемому дифференциальному уравнению, то путем выбора его вида и коэффициентов достигается реализация требуемого движения в системе, а независимость заданного дифференциального уравнения от возмущающего воздействия обеспечивает эффективное его подавление.

В то же время, на желаемое дифференциальное уравнение системы накладывается определенное ограничение, а именно: его порядок должен быть не меньше порядка уравнения объекта.

Однако, предложенная в [1] методика может быть реализована только в случае, если система описана одним дифференциальным уравнением и удастся найти его решение относительно старшей производной, что для некоторых систем является практически невыполнимой задачей. К числу таких систем

относится система частотно-каскадного электропривода [2], математическое описание которой имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} (L_s + L_d) \frac{dI_d}{dt} + R_s(\alpha, s) I_d &= E_{d0} s - E_{di} (1 - \gamma) \\ M &= \frac{1.35}{\alpha \omega_0} \left[\sqrt{3} E_{2k} I_d - \frac{\alpha X_s + \frac{2\pi}{3} R_{1s}}{\sqrt{2}} I_d^2 \right] \\ \alpha \omega_0 J \frac{ds}{dt} &= M_c - M \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В (3) обозначено L_s, R_s – эквивалентные индуктивность и активное сопротивление фазы электродвигателя, L_d – индуктивность дросселя, E_{d0} – выпрямленная ЭДС ротора, E_{di} – ЭДС инвертора, s – скольжение, γ – скважность работы импульсного регулятора скольжения, M, M_c – момент на валу двигателя и момент сопротивления, α – относительная частота напряжения на статоре, ω_0 – частота вращения холостого хода. J – момент инерции, приведенный к валу электродвигателя.

Анализ (3) показывает, что непосредственное использование положений известного метода структурного синтеза в данном случае наталкивается на ряд определенных трудностей. Это обусловлено тем, что ввиду нелинейной связи между первым и третьим уравнениями системы (3) практически невозможно получить одно дифференциальное уравнение, характеризующее систему. Поэтому, предлагается задавать требуемое движение не всей системы, а отдельных ее составляющих, т. е. использовать разделение электромагнитного и электромеханического движений системы.

Если потребовать аperiodичности переходного процесса, то в качестве желаемого уравнения движения целесообразно принять дифференциальное уравнение первого порядка

$$\frac{ds}{dt} + (b_2 + C)s = Cs_0, \quad (4)$$

где s_0 – рассматривается как заданное скольжение; b_2 и C – параметры настройки.

Решая (4) относительно старшей производной при $b = 0$, получим

$$\frac{ds}{dt} = C(s_0 - s). \quad (5)$$

При обработке заданного движения выходной координаты электропривод должен преодолеть момент сопротивления, который, в общем случае, не является постоянной величиной. Это приводит к необходимости задания требуемого закона изменения момента (тока) электродвигателя. Естественно, что заданное изменение момента двигателя должно соответствовать изменению момента сопротивления

$$\frac{dI_d}{dt} + 2\sigma I_d = k_\mu \left[\frac{dM_c}{dt} + 2\sigma M_c \right], \quad (6)$$

где k_μ – в общем случае оператор, определяющий связь между током и моментом асинхронного двигателя. Однако при работе в первой рабочей области зависимость между моментом и выпрямленным током ротора практически линейна, что позволяет определить k_μ в виде $k_\mu = 1/C_{m0}(\alpha, \nu)$.

Решая (6) относительно старшей производной, получим

$$\frac{dI_d}{dt} = k_\mu \left[\frac{dM_c}{dt} + 2\sigma M_c \right] - 2\sigma I_d. \quad (7)$$

Подставляя (5) в (3) получим, что условие (4) выполнимо лишь при изменении скольжения по закону

$$s = s_0 - \frac{M_c - M}{\alpha\omega_0 J C}. \quad (8)$$

Разложение функции двух переменных $f(I_d, s) = R_s I_d = (R_r + R_s(\alpha)s)I_d$ в ряд Тейлора в окрестности точки (s_0, I_{d0}) позволяет представить первое уравнение системы (3) в виде

$$(L_s + L_d) \frac{dI_d}{dt} + R_{s0} I_d = (E_{d0} - R_s(\alpha)I_{d0})s - E_{di}(1 - \gamma) + R_s(\alpha)s_0 I_{d0}. \quad (9)$$

Подставляя выражения (7) и (8) в (9) получим уравнение, решение которого относительно управляющего воздействия определяет структуру системы управления

$$\chi = (1 - \gamma) = \frac{E_d}{E_{di}} s_0 +$$

$$+ \frac{1}{E_{di}} \left\{ \begin{aligned} &(M - M_c) \left(\frac{E_d - R_s(\alpha)I_{d0}}{\alpha\omega_0 J C} \right) - \\ &-(L_d + L_s)k_\mu M_c [p + 2\sigma] - \\ &-(R_{s0} - (L_d + L_s)2\sigma)I_d \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

В соответствии с (10) была составлена структурная схема системы автоматического управления скольжением асинхронного электродвигателя (рис. 1) и рассчитаны переходные процессы (рис. 2).

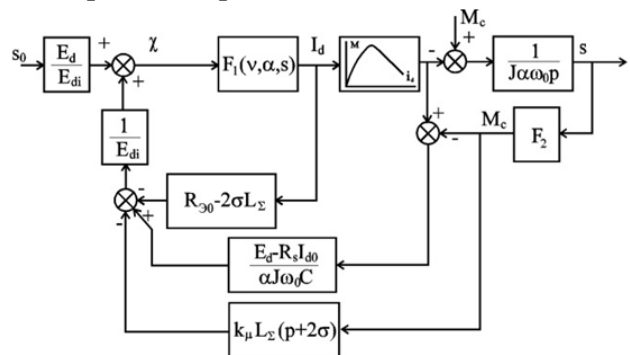


Рис. 1. Структурная схема системы управления частотно-каскадным электроприводом

Анализ переходных процессов (рис. 2) показал, что синтезированная система характеризуется апериодичностью движения и обеспечивает астатическое регулирование при стабильности динамических процессов вне зависимости от возмущающих воздействий (частоты статорного напряжения и нагрузки привода) при отсутствии энергетических ограничений по управляющему воздействию. Последнее свидетельствует о правомерности предлагаемого подхода к синтезу алгоритмов управления динамическими системами, математические модели которых не могут быть представлены одним дифференциальным уравнением.

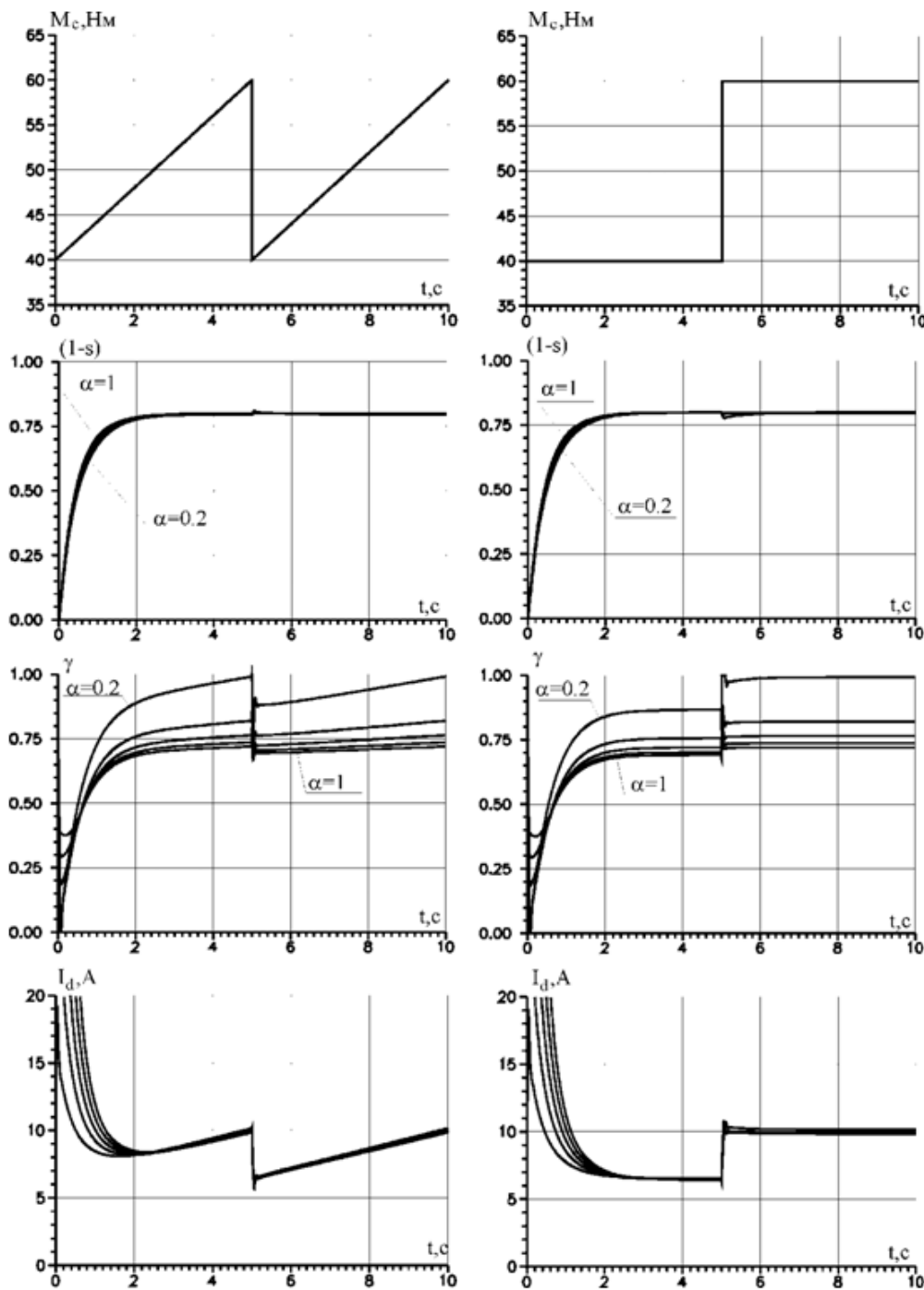


Рис. 2. Переходные процессы в замкнутой системе

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойчук Л. М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. – М.: «Энергия». – 1971. – 112 с.
2. Волков В. Д., Смольянинов А. В., Полуказов А. В. Динамическая модель асинхронно-

го электродвигателя при частотно-каскадном управлении / Инновационные технологии в электроэнергетике и электромеханике: сборник научно-технических трудов международной научной конференции – Воронеж: НОУ ВПО «Междунар. ин-т компьютер. технологий». – 2013. – С. 37–42.

Смолянинов Андрей Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Воронежского государственного архитектурно-строительного университета.

Тел.: (4732) 71-59-18

E-mail: 79081337398@ya.ru

Десятирикова Елена Николаевна – доктор экономических наук, профессор кафедры информационных систем Воронежского государственного университета.

Тел.: (4732)208-724

E-mail: science2000@ya.ru

Волков Вячеслав Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Электромеханических систем и электрооборудования Воронежского государственного технического университета.

Тел.: (4732) 71-59-18

E-mail: 79081337398@ya.ru

Smoljaninov Andrej V. – Candidate of Technical Sciences, docent of the department of automation of technological processes and manufactures, Voronezh State Architecturally-Building University.

Tel.: (4732) 71-59-18

E-mail: 79081337398@ya.ru

Desyatirikova Elena N. – Doctor of Economy Sciences, Professor of the Depth.of the Information Systems, Voronezh State University.

Tel.:(4732)208-724

E-mail: science2000@ya.ru

Volkov Vyacheslav D. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Depth. of Electrical Systems, Voronezh State Technical University.

Tel.: (4732) 71-59-18

E-mail: 79081337398@ya.ru