

САМОНАСТРАИВАЮЩИЕСЯ АЛГОРИТМЫ УСТРАНЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ОШИБОК В АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ И АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В.Е. Вохрышев

Самарский государственный технический университет
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Предложены и исследованы самонастраивающиеся алгоритмы управления, обеспечивающие устранение статических ошибок в линейных системах и симметричность автоколебаний относительно уставки в нелинейных автоколебательных системах при несимметричных ограничениях на управляющие воздействия и постоянно действующих возмущениях.

Ключевые слова: самонастраивающийся алгоритм, релейная система управления, статическая ошибка.

Качество работы систем автоматического управления в установившемся режиме работы оценивается по величине статической ошибки, равной в линейных системах разности между требуемым (уставкой) и действительным значениями регулируемой величины, а в автоколебательных нелинейных системах – величиной отклонения среднего значения автоколебаний регулируемой координаты от заданного значения. Наличие статических ошибок в автоматических системах обусловлено как свойствами объектов и систем их управления, так и возмущающими сигнальными и параметрическими воздействиями. Проблема выявления, оценки величины статических ошибок и способов их компенсации в теории автоматического управления объектами, математическое описание которых имеет приемлемую для практики достоверность, достаточно хорошо изучена [1, 2].

Однако в условиях существующей идеализации модели объекта или ее априорной неопределенности, которая всегда имеет место в реально работающих системах, использование известных методов устранения статических ошибок оказывается затруднительным.

В связи с этим задача поиска простых и практически эффективных законов и алгоритмов компенсации статических ошибок в условиях параметрической и структурной неопределенности характеристик объекта сохраняет свою актуальность.

Линейные системы. В линейных системах ошибка системы может быть найдена по выражению [1]

$$E(s) = \frac{x_0(s)}{1+W(s)} - \frac{\sum_{k=1}^m F_k(s)W_k(s)}{1+W(s)}, \quad (1)$$

где $x_0(s)$ и $F(s)$ – изображения требуемого значения регулируемой величины (уставки) и возмущающего воздействия соответственно;

$W(s)$ – передаточная функция разомкнутой системы;

$F_k(s)$ и $W_k(s)$ – возмущение и соответствующая ему передаточная функция;

$E(s) = x_0(s) - x(s)$ – изображение ошибки;

$x(s)$ – изображение регулируемой координаты.

Применительно к выражению (1) передаточные функции разомкнутой системы и по возмущению дают возможность в символической или операторной форме записать дифференциальное уравнение, связывающее ошибку с входными воздействиями:

$$e(t) = \frac{x_0(t)}{1 + W(p)} - \frac{\sum_{k=1}^m f_k(t) \cdot W_k(p)}{1 + W(p)}, \quad (2)$$

где $p = \frac{d}{dt}$ – алгебраический оператор дифференцирования.

Статическая ошибка в системах стабилизации в соответствии с теоремой о предельном переходе при условии, что и возмущения $f_k(t) = f_{k0} = const$, будет иметь следующий вид:

$$e(t) = \left[\frac{x_0}{1 + W(p)} \right]_{p \rightarrow 0} - \left[\frac{\sum_{k=1}^m W_k(p) \cdot f_{k0}}{1 + W(p)} \right]_{p \rightarrow 0} = e_{cm1} + e_{cm2}. \quad (3)$$

Первое слагаемое выражения (3) представляет собой составляющую ошибки $e(t)$, определяемую задающим воздействием x_0 , которая может быть отличной от нуля в системах стабилизации без астатизма. В этом случае $W(p) = k$ представляет собой общий коэффициент усиления по разомкнутой цепи и первое слагаемое в выражении (3) может быть представлено в виде

$$e_{cm1}(t) = \frac{x_0}{1 + W(p)} = \frac{x_0}{1 + k}.$$

Эта составляющая ошибки может быть уменьшена путем увеличения коэффициента k и сведена к нулю при астатическом регулировании, когда $W(0) \rightarrow \infty$. Вторая составляющая никогда не обращается в нуль, если возмущающее воздействие приложено до интегрирующего звена.

Существуют способы, позволяющие устранить статическую ошибку без использования интегрирующих элементов. Достигается это введением неединичной обратной связи в замкнутых системах стабилизации либо масштабированием входного воздействия x_0 или выходной величины $x(t)$ [2].

Указанные методы компенсации ошибки оказываются, однако, малоприменимыми для практического использования в условиях неопределенности параметров объекта и среды, а также при действии параметрических и постоянно действующих сигнальных возмущений.

Полезное для практики решение проблемы может быть найдено путем применения законов и алгоритмов адаптивного управления.

В настоящей статье для устранения статической ошибки без использования интегрирующих звеньев в цепи основного контура управления предлагается и исследуется самонастраивающийся пропорциональный закон управления:

$$U = k_3 \cdot (k_1 \cdot x_0 + a(t) - x(t)) , \quad (4)$$

где

$$a(t) = k_2 \cdot \int_0^t (x_0 - x(t)) dt , \quad (5)$$

k_1, k_2 – постоянные коэффициенты;
 k_3 – коэффициент усиления регулятора;
 $x(t)$ – регулируемая координата.

На рис. 1 представлена структурная схема системы.

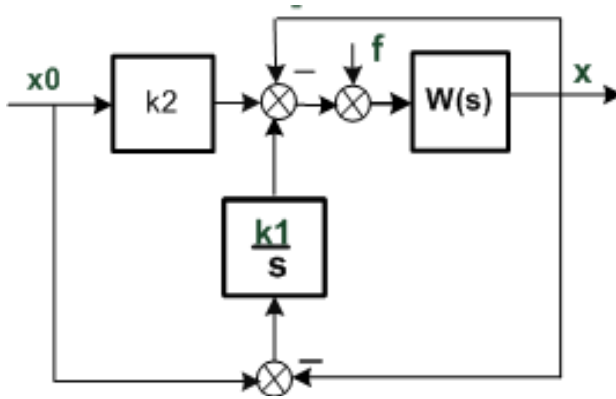


Рис. 1. Структурная схема системы

Как видно из соотношений (4) и (5), интегрирующее звено, включенное в контур самонастройки, выполняет автоматическое изменение задающего воздействия x_0 в функции ошибки и позволяет при соответствующем выборе коэффициентов k_2 и k_3 , обеспечивающих сходимость процессов в системе во всем диапазоне изменения параметров объекта и среды, устранять статические ошибки при действии как задающих, так и возмущающих параметрических и сигнальных воздействий без интегрирующих звеньев в прямой цепи управления.

Нелинейные автоколебательные системы. Большой класс нелинейных автоколебательных систем образуют релейные системы управления, обладающие простотой конструкции, алгоритмической и программной реализацией, высоким быстродействием, надежностью и высокой степенью инвариантности к вариациям параметров объекта [3]. Простейший релейный закон управления при симметричном управляющем воздействии имеет вид

$$U = B \cdot \text{sign}(M(x)) , \quad (6)$$

где $M(x)$ – функция переключения;

$$M(x) = x_0 - x(t) ;$$

sign – знаковая функция: $\text{sign} = 1$, если аргумент функции больше нуля, и $\text{sign} = -1$, если аргумент функции меньше или равен нулю;

B – величина управляющего воздействия.

При асимметричном управлении уравнение (4) обычно принимает вид

$$U = \begin{cases} B, & \text{при } M(x) > 0, \\ 0, & \text{при } M(x) \leq 0. \end{cases} \quad (7)$$

Внешние возмущающие воздействия и асимметричность управления вызывают смещение среднего значения автоколебаний относительно заданного, которое понимается как статическая ошибка. Процедура приближенного расчета величины смещения методом гармонического баланса для заданного объекта с управлением (6) и (7) приведена в работе [1]. Понятно, что в условиях неопределенности параметров объекта и среды устранение смещения автоколебаний должно осуществляться автоматически. Ниже предлагается и исследуется самонастраивающийся алгоритм, решающий эту задачу в автоколебательных системах стабилизации, путем автоматического масштабирования задающего воздействия в функции переключения:

$$M(x) = k_1 \cdot x_0 + a(t) - x(t), \quad (8)$$

$$a(t) = k_2 \cdot \int_0^t (x_0 - x_{cp}) dt. \quad (9)$$

Здесь все параметры в уравнениях (8) и (9), за исключением x_{cp} , имеют тот же смысл, что и в уравнениях (2) и (3), а x_{cp} – среднее значение амплитуды автоколебаний, которое в предлагаемом алгоритме определяется следующим образом:

$$x_{cp} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2},$$

где x_{\max} и x_{\min} – экстремальные значения регулируемой координаты.

Алгоритмы управления (2) и (8) были исследованы методом цифрового моделирования в системах управления различными динамическими объектами в условиях действия как сигнальных, так и параметрических возмущений.

Рис. 2, полученный методом цифрового моделирования системы с управлением (2) и линейным объектом

$$W(s) = \frac{1.5}{(4.76 \cdot s + 1)(1.98 \cdot s + 1)(0.32 \cdot s + 1)},$$

иллюстрирует процесс автоматического изменения уставки, приводящий к устранению статической ошибки. Здесь же приведен процесс изменения координаты x при прочих равных условиях, но без масштабирования уставки.

Из рисунка видно, что в системе без самонастройки возникает статическая ошибка, устранить которую без интегрирующего звена в прямой цепи управления невозможно.

Рис. 3 иллюстрирует процессы в той же системе при постоянно действующем сигнальном возмущении $f = 0,1$ на входе объекта с релейным управлением (5), приводящем к стабилизации амплитуды автоколебаний и их симметричности относительно уставки. Здесь же приведен процесс изменения координаты $x(t)$ при прочих равных условиях, но без автоматического устранения смещения автоколебаний относительно уставки x_0 , вызванного асимметричным управлением и возмущающим воздействием. На рис. 3 управление в системе без самонастройки условно не показано. Из рисунка видно, что без самонастройки управления возникает неустранимая статическая ошибка (смещение автоколебаний), равная разности между уставкой и средним значением автоколебаний.

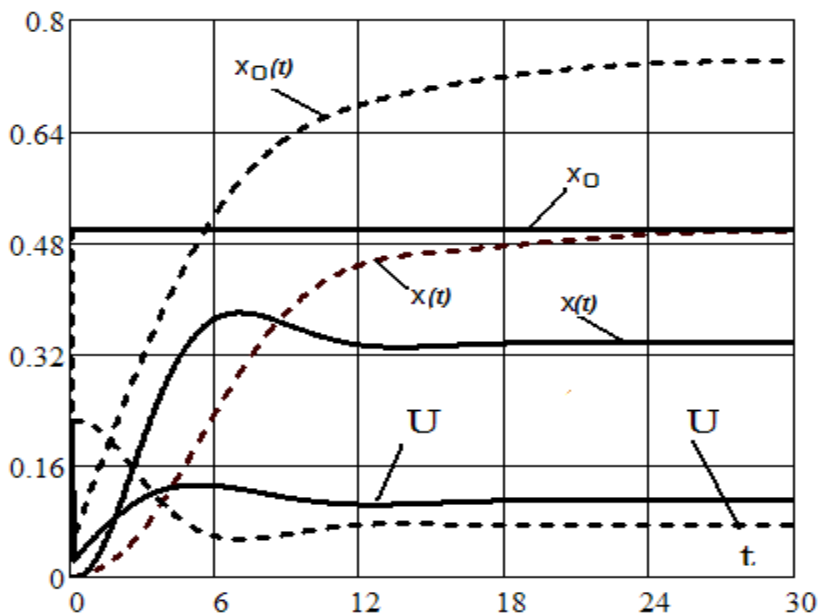


Рис. 2. Процессы в самонастраивающейся системе (пунктирные линии) и в системе без самонастройки (сплошные линии)

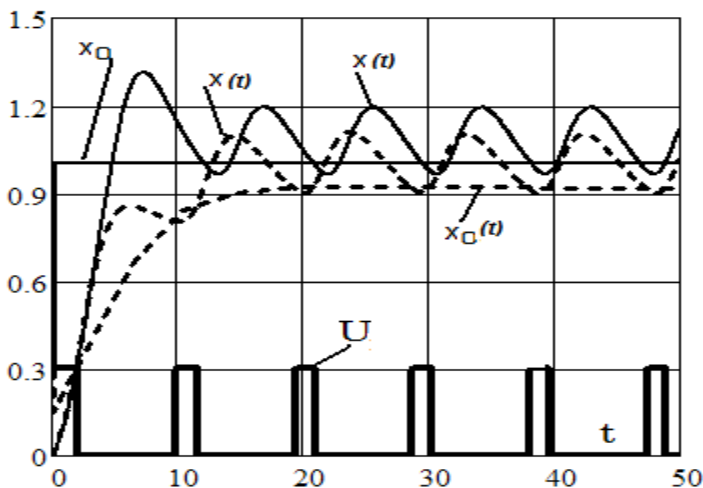


Рис. 3. Процессы в самонастраивающейся автоколебательной системе (пунктирные линии) и в системе без самонастройки (сплошные линии)

Выводы. Предложены и исследованы самонастраивающиеся алгоритмы управления в линейных и релейных автоколебательных системах, обеспечивающие в условиях неопределенности параметров объекта и среды устранение статических ошибок путем автоматического масштабирования величины задающего воздействия.

Работоспособность и эффективность алгоритмов подтверждена их исследованиями методом цифрового моделирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бесекерский В.А., Попов Е.П.* Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. – 768 с.
2. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; Под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высшая школа, 2003. – 567 с.
3. *Фалдин Н.В.* Релейные системы автоматического управления // Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – С. 573-636.

Статья поступила в редакцию 7 апреля 2012 г.

SELF-ADAPTING ALGORITHMS FOR ELIMINATION OF STATIC ERRORS IN AUTOMATIC LINEAR AND SELF-OSCILLATING NON-LINEAR SYSTEMS OF THE DYNAMIC OBJECTS STABILIZING

Valeriy E. Vokhryshev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The paper is the analysis of self-adapting control algorithms that provide the elimination of static errors in linear systems as well as symmetry of self-oscillations towards the demanded points in non-linear self-oscillating systems with nonsymmetric restrictions to control actions and with permanent perturbances.

Keywords: *self-adapting algorithm, relay direction system, static mistake.*