

Системный анализ, управление и обработка информации

УДК 62-50

РЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ И ПАССИВНОЙ АДАПТАЦИЕЙ

А.С. Бакланов, В.Е. Вохрышев

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

Предложены и исследованы алгоритмы управления релейными автоколебательными системами с отрицательным переменным гистерезисом в статической характеристике управляющего устройства и переменной структурой, которые обеспечивают повышение быстродействия системы в переходном процессе и полную инвариантность статических ошибок при постоянных воздействиях и асимметричном управлении. Эффект инвариантности достигается посредством формирования компенсирующих сигналов без активного изменения параметров управляющего устройства. Приведены результаты компьютерного моделирования.

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

Системы с переменной структурой (СПС), введенные в теорию и практику автоматического регулирования С.В. Емельяновым [1], позволяют во многих случаях существенно повысить эффективность управления динамическими объектами. Идея их построения состоит в организации нескольких структур регулятора и смене их путем переключения в процессе управления объектом таким образом, чтобы в наибольшей степени использовать положительные свойства каждой из структур. Практическая ценность релейных систем с переменной структурой определяется возможностью обеспечения в них адаптивности, инвариантности, линеаризации и понижения порядка за счет организации скользящих и квазискользящих процессов в замкнутой системе [2, 3, 4].

Существенным преимуществом релейного управления является также значительное упрощение исполнительного механизма системы за счет снижения требований к его характеристикам.

Релейные системы с симметричным управлением

В настоящей статье предлагаются и исследуются релейные системы с переменной структурой и переменным гистерезисом релейной характеристики управляющего устройства [3], уравнение которого имеет вид

$$U(t) = B \cdot \text{sign}(M(t)). \quad (1)$$

Александр Сергеевич Бакланов, аспирант.

Валерий Евгеньевич Вохрышев (д.т.н., доцент), профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Здесь B – величина управляющего воздействия («полка» реле), sign – знако-
вая функция, принимающая значения $+1$ или -1 ; $+1$ или 0 . В первом случае
управление (1) является симметричным, во втором – асимметричным. Переключе-
ния управления происходят всякий раз, когда функция переключения $M(t)$ об-
ращается в нуль:

$$M(t) = x_0 + k \cdot (x_e(t) - x_0) - x(t),$$

где $x_e(t)$ – экстремальные значения регулируемой координаты $x(t)$ (ее максимум
 $x_{\max}(t)$ или минимум $x_{\min}(t)$), k – постоянный коэффициент, $-1 < k < 1$, x_0 – за-
данное конечное состояние (уставка). Если коэффициент k установлен в диапа-
зоне $0 < k < 1$, переключения управления (1) происходят с опережением по от-
ношению к величине x_0 (причем это опережение поставлено в линейную зави-
симость от амплитуды автоколебаний $A = |x_e(t) - x_0|$), а при $1 < k < 0$ – с запаз-
дыванием. При $k = 0$ уравнение (1) описывает нелинейность типа «идеальное
реле».

Качество управления в релейных системах определяется обычно величиной
амплитуды автоколебаний в установившемся режиме работы и временем затуха-
ния автоколебаний – в переходном. Эти показатели детерминируются динамиче-
скими свойствами объекта и параметрами управления. При изменении коэффи-
циента k в указанном выше диапазоне амплитуда автоколебаний в релейной си-
стеме при прочих равных условиях может существенно изменяться. Это показано
на рис. 1, где приведены результаты компьютерного моделирования замкнутой
релейной системы с управлением (1) (с коэффициентом k , равным соответ-
ственно 0,4 и 0,9) и объектом, дифференциальное уравнение которого имеет вид

$$x^{(3)}(t) = 2u - 3x^{(2)} - 2x^{(1)}. \quad (2)$$

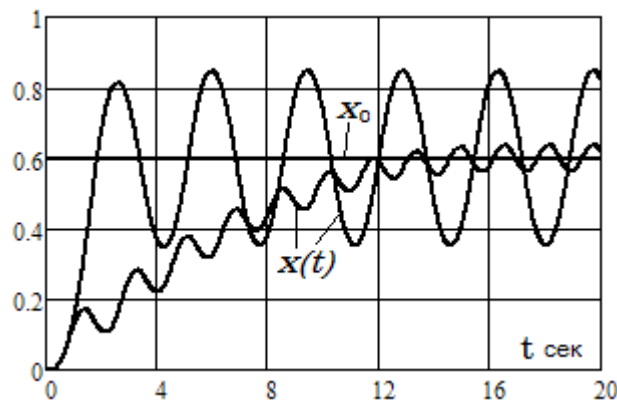


Рис. 1. Переходные процессы в релейной системе с переменным гистерезисом

Из рисунка видно, что амплитуда автоколебаний в установившемся режиме
работы системы во втором случае значительно меньше, чем в первом, однако
время регулирования в ней существенно больше.

Проблема повышения качества управления, таким образом, может быть ре-
шена путем организации двух структур регулятора, которые переключаются в
режимах малых и больших отклонений регулируемой координаты за некоторую

заданную допустимую зону. Ниже приводится закон управления, реализация которого позволяет решить эту задачу:

$$U = \begin{cases} B, \text{если } (xH > x(t) \wedge M > 0 \vee xB < x(t) \wedge M > 0 \vee xH \leq x(t) \wedge M1 > 0 \vee xB \geq x(t) \wedge M1 > 0), \\ -B, \text{если } (xH > x(t) \wedge M \leq 0 \vee xB > x(t) \wedge M \leq 0 \vee xH \leq x(t) \wedge M1 \leq 0 \vee xB \geq x(t) \wedge M1 \leq 0), \end{cases} \quad (3)$$

где

$$M = xH + k_1 \cdot (x_e - xH) - x(t), \text{ если } x(t) < xH; \quad (4)$$

$$M = xB + k_1 \cdot (x_e - xB) - x(t), \text{ если } x(t) > xB; \quad (5)$$

$$M_1 = x_0 + k_2 \cdot (x_e - x_0) - x(t), \quad (6)$$

x_e – экстремальные значения регулируемой координаты $x(t)$, равные ее максимуму или минимуму;

$xH = x_0 - c$, $xB = x_0 + c$ – соответственно величины, определяющие нижнюю и верхнюю границы зоны допустимых отклонений;

k_1 и k_2 – постоянные коэффициенты, величины которых меньше единицы ($0 \leq k_1, k_2 < 1$);

c – половина величины зоны допустимых отклонений;

B – величина управляющего воздействия;

\wedge, \vee – знаки конъюнкции и дизъюнкции.

Уравнением (3) описывается регулятор с отрицательным переменным гистерезисом и зоной допустимых отклонений, внутри которой меняется структура управления. Переключения управления при больших отклонениях осуществляются с опережением по отношению к верхней или нижней границам зоны допустимых отклонений, под управлением функций переключения M , а при малых (за счет изменения его структуры) – по отношению к x_0 , уже под управлением функции переключения M_1 , что и позволяет обеспечить необходимое быстродействие в переходном процессе и заданную точность автоколебаний в установившемся режиме работы. Этот эффект иллюстрируется рис. 2, где приведены переходные процессы в релейной системе управления объектом (2).

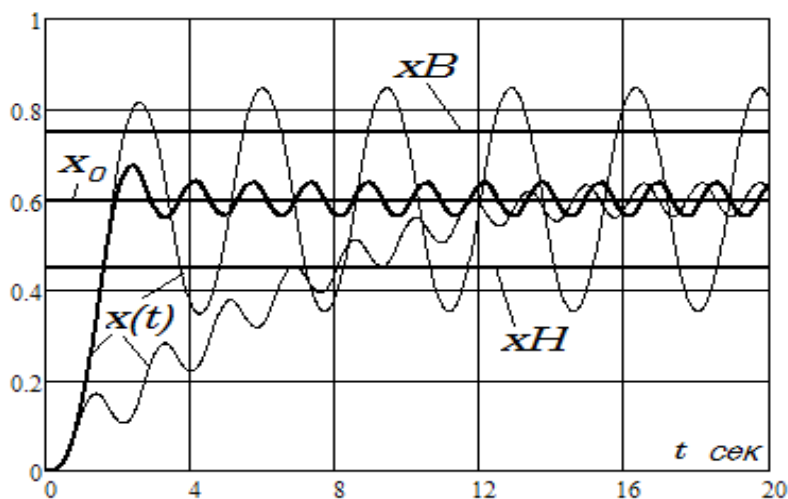


Рис. 2. Процессы в релейной системе с переменной структурой

Здесь коэффициенты k_1, k_2 в управлении (2) установлены равными соответственно 0,4 и 0,9.

Релейные системы с асимметричным управлением

Процессы, представленные на рис. 2, существуют в астатических системах с симметричным управлением. В релейных же системах, работающих по принципу «включено – выключено» или «открыто – закрыто» и содержащих в своей структуре объекты без астатизма, возникают асимметричные относительно x_0 автоколебания. В результате в системе появляется смещение среднего значения автоколебаний относительно уставки в установившемся режиме работы системы, которое понимается здесь как статическая ошибка. Под действием сигнальных и параметрических возмущений, усиливающих эффект смещения, ошибка может выходить за рамки допустимых ограничений.

Ниже предлагается решение данной проблемы на базе методологии синтеза систем в классе самонастраивающихся с переменной структурой и пассивной (сигнальной) адаптацией, когда эффект самонастройки достигается с помощью компенсирующих сигналов, без изменения параметров управляющего устройства [5]. Эта цель достигается посредством модификации закона управления (2):

$$U = \begin{cases} B, \text{ если } (xH > x(t) \wedge M > 0 \vee xB < x(t) \wedge M > 0 \vee xH \leq x(t) \wedge M_1 > 0 \vee xB \geq x(t) \wedge M_1 > 0); \\ 0, \text{ если } (xH > x(t) \wedge M \leq 0 \vee xB > x(t) \wedge M \leq 0 \vee xH \leq x(t) \wedge M_1 \leq 0 \vee xB \geq x(t) \wedge M_1 \leq 0), \end{cases} \quad (7)$$

в котором функция M имеет вид соотношений (4) и (5), а функция M_1 задается уравнением

$$M_1 = x_k(t) + k_2 \cdot (x_3 - x_k(t)) - x(t),$$

где $x_k(t) = k_3 x_0 + k_4 \int_0^t (x_0 - x_{cp}) dt$; k_3 и k_4 – постоянные коэффициенты;

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

В этих соотношениях x_0 – уставка (заданное конечное значение регулируемой координаты), а $x_k(t)$ – новое, смещенное на заранее неизвестную величину значение уставки, получаемое за счет масштабирования величины x_0 . Эта операция осуществляется введением в замкнутую систему положительной обратной связи

$$U_{oc} = k_4 \cdot \int_0^t (x_0 - x_{cp}) dt,$$

которая выполняет функцию контура сигнальной (пассивной) адаптации, обеспечивающей устранение статической ошибки, как показано на рис. 3, полученном компьютерным моделированием релейной системы управления объектом, дифференциальное уравнение которого имеет вид

$$x^{(3)}(t) = u - 2x^{(2)} - 1.75x^{(1)} - 0.5x.$$

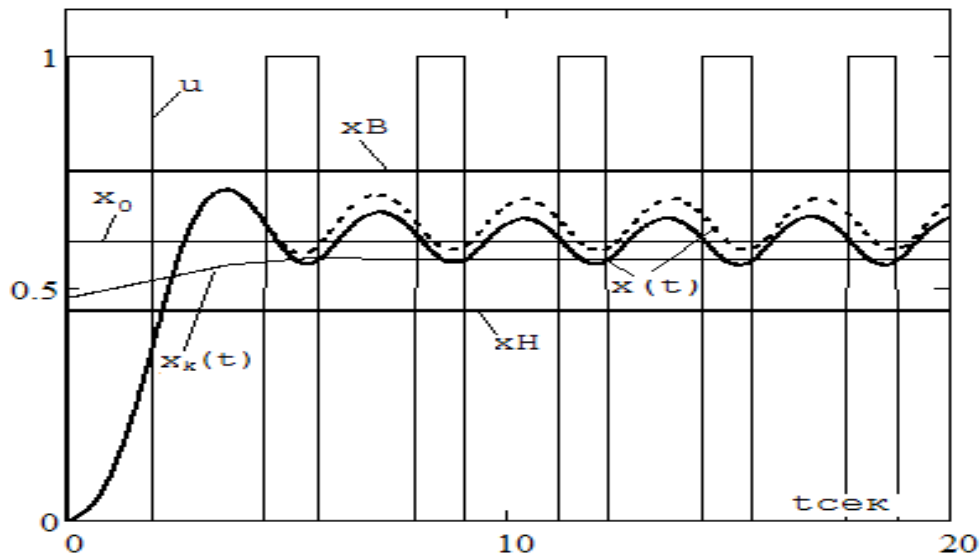


Рис. 3. Процессы в релейной системе с пассивной адаптацией (пунктирная линия – процесс в неадаптивной системе, сплошная – в адаптивной)

Коэффициент k_2 в прямой цепи системы позволяет при больших отклонениях регулируемой координаты (например при пуске, когда $x_0 \gg x$) обеспечить плавный перевод объекта в заданное состояние без перерегулирования.

Смещение задающего воздействия x_0 в функции ошибки позволяет при соответствующем выборе коэффициентов k_2 , k_3 и k_4 , 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.

Таким образом, управления (3) и (7) обеспечивают повышение быстродействия и точности стабилизации амплитуды автоколебаний, а также их симметричность относительно уставки путем изменения структуры управляющего устройства и с помощью компенсирующих сигналов при асимметричном управлении посредством автоматического масштабирования задающего воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. – М.: Наука, 1970. – 598 с.
2. Уткин В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. – М.: Наука, 1981. – 368 с.
3. Рагазин Д.А., Вохрышев В.Е. Квазискользящие процессы в релейных системах с отрицательным переменным гистерезисом // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2008. – № 1(21). – С. 5–9.
4. Методы современной теории автоматического управления. – Т. 5 / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Изд. МГТУ им. И.Э. Баумана, 2004. – 784 с.
5. Вохрышев В.Е. Самонастраивающиеся алгоритмы устранения статических ошибок в автоматических линейных и автоколебательных нелинейных системах стабилизации динамических объектов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 4(36). – С. 19–24.

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2015 г.

RELAY SYSTEMS WITH VARIABLE STRUCTURE AND PASSIVE ADAPTATION

A.S. Baklanov, V.E. Vokryshev

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

The following paper suggests and studies the algorithms to control the relay automatic oscillation systems with negative variable hysteresis in a static characteristics of controlling device and variable structure which provide the advanced rapidity of the system during transition period and full invariance of static mistakes under constant impact and non-symmetrical control. The invariability effect of is reached by means of forming the compensating signals without active change of controlling device parameters. The paper shows the results of computer modeling.

Keywords: *Relay direction system, variable structure, self-adapting algorithm, static mistake.*

*Aleksandr S. Baklanov, Postgraduate Student.
Valeriy E. Vokryshev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*