

УДК 796:51-7

РАСПОЗНАВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

О. Н. Инденко, Т. А. Машкина

RECOGNIZE STATIC NONLINEAR CHARACTERISTICS OF DYNAMIC OBJECTS

O. N. Indenko, T. A. Mashkina

В статье показаны возможности решения задачи распознавания вида нелинейной характеристики непрерывного динамического объекта апериодической природы первого порядка с наличием различных модификаций статической нелинейности на основе анализа дискретной измерительной информации о его функционировании и моделирования линейной части объекта непрерывными дробями.

This article shows the possibility of recognition of non-linear characteristics of continuous dynamic object a deadbeat nature first order with the presence of various modifications static nonlinearity based on the analysis of discrete measurement information on its operation and simulation of linear part of a continuous fractions.

Ключевые слова: моделирование, нелинейная характеристика, динамический объект.

Keywords: nonlinear characterization, modeling, a dynamic object.

При изучении нелинейных автоматических систем необходимо учитывать особенности, несвойственные линейной постановке, и являющиеся следствием неотъемлемых физических свойств: сухого трения и зазоров в кинематике, насыщения в связи с ограничениями изменения массы, величины передаваемой энергии и т. д. А так же нелинейные элементы преднамеренно вводят для получения требуемых показателей качества системы автоматического управления (САУ) [1].

В САУ различают два вида нелинейностей: статические и динамические. Выходная переменная статических нелинейных звеньев в каждый момент времени зависит только от значений входной переменной и не зависит от того, как эта входная переменная изменялась до рассматриваемого момента времени. В наиболее распространенных случаях нелинейные свойства системы в основном определяются наличием статических характеристик [2, 4, 6]. Целью работы является изучение распознавание вида статической нелинейности динамического объекта по результатам дискретных наблюдений его входных сигналов.

Определение 1. Линейным объектом называется объект, удовлетворяющий принципу суперпозиции,

который заключается в выполнении следующих соотношений [4]:

условие однородности: если

$$y(t) = L(x(t)), \alpha \in R^1, \quad (1)$$

$$\text{то } L(\alpha x(t)) = \alpha L(x(t)) = \alpha y(t),$$

условие аддитивности: если

$$y_1(t) = L(x_1(t)), y_2(t) = L(x_2(t)),$$

то

$$L(x_1(t) + x_2(t)) = L(x_1(t)) + L(x_2(t)) = y_1(t) + y_2(t). \quad (2)$$

Определение 2. Объект называется нелинейным, если он не удовлетворяет принципу суперпозиции или если зависимость его выходного сигнала от входного не может быть описана линейным уравнением [1].

Структура и уравнение нелинейной системы могут быть очень сложными в зависимости от количества, вида и места включения нелинейных элементов. Однако большинство реальных систем содержит один существенно нелинейный элемент (рис. 1).

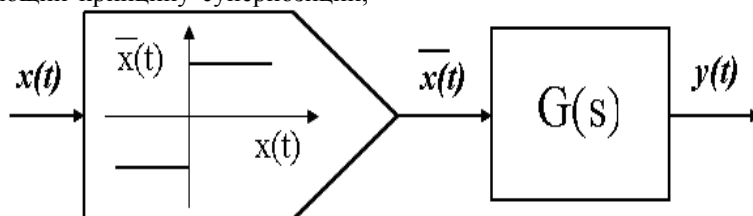


Рис. 1. Структурная схема нелинейной системы

В данной структурной схеме отражены:

$x(t)$ – входной сигнал (воздействие);

$\bar{x}$ – типовая нелинейная характеристика;

$G(s)$ – передаточная функция линейной части динамического объекта;

$y(t)$ – выходной сигнал нелинейной системы.

Традиционно группируют характеристики типовых нелинейных элементов по классам [5, 6 8]:

- релейные элементы;
- нелинейные элементы с произвольными кусочно-линейными характеристиками;
- нелинейные элементы со степенными характеристиками;
- нелинейные элементы с характеристиками типа сухого трения.

Релейные элементы являются наиболее распространенным типом нелинейных элементов. В автоматике издавна применяются переключательные (пороговые) элементы. Их функциональное назначение – изменять скачком выходную величину в момент, когда входная переходит (убывая или возрастаая) некоторый порог.

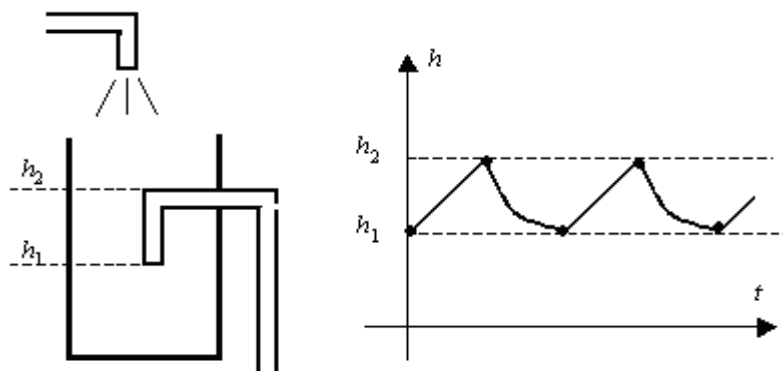


Рис. 2. Гидроосциллятор

Бак заполняется жидкостью, при достижении уровня h_2 жидкость вытекает по встроенному сифону. При снижении уровня до h_1 в сифон попадает воздух и он "выключается", уровень жидкости вновь повышается.

Релейная характеристика с зоной нечувствительности имеет место в стабилизаторах, двигателях. Простейшей механической моделью является система соединения двух валов с пружинным возвратом ведомого вала в нейтральное положение при наличии участка свободного хода в системе передачи [5].

Алгоритм распознавания типа нелинейных характеристик основан на моделировании линейной части объекта непрерывными дробями [3, 7], и построении и анализе переходных кривых для описания вида нелинейности. Так как нелинейность невозможно восстановить с помощью одной реализации, то входной сигнал возьмем в виде ступенчатой функции $x(t) = \alpha \times 1(t)$, где α – const. Варьируя значением коэффициента α , получим комплекс реализаций, с помощью которых проводим структурно-параметрическую идентификацию объекта. Для восстановления линейной части объекта используется модифицированный метод В. Висковатова [3].

Реализация предложенного алгоритма поясняется структурной схемой, иллюстрирующей блок изменения амплитуды входного сигнала на исследуемый объект, сбор измерительной информации о его функционировании, с последующим восстановлением дискретной и непрерывной математических моделей идентифицируемого объекта, накопление оценок параметров нелинейной характеристики изменяя амплитуду входного сигнала и распознавание типа нелинейности:

Например, двухпозиционное реле – физически реализуемый элемент, который используется в различных схемах сигнализации, устройствах специального типа, применяемых для форсирования управляющего сигнала при больших рассогласованиях между переменной и заданием. Простейшей иллюстрацией является регулятор уровня жидкости – гидроосциллятор (рис. 2) [1].

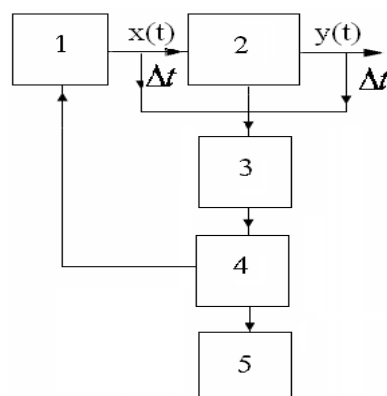


Рис. 3. Структурная схема алгоритма

- 1) блок изменения амплитуды входного сигнала;
- 2) динамический объект управления;
- 3) блок идентификатора непрерывной дроби и восстановления дискретной и непрерывной математических моделей объекта;
- 4) блок накопления оценок параметров нелинейной характеристики;
- 5) блок распознавания типа нелинейной статической характеристики.

Анализируя вид переходной кривой, получаем, что принцип суперпозиции не выполняется, следовательно, в объекте присутствует нелинейное звено. В частности, если при различных значениях амплитуды α подаваемого сигнала выходной сигнал $y(t)$ выходит на постоянные значения, причем с ярко выраженной полярностью, то линейная часть имеет вид идеальной релейной характеристики. Если при этом существует отрезок, на котором различным значениям $x(t)$, соответствует $y(t)=0$, т. е. объект не реагирует на входной сигнал, мы наблюдаем на этом интервале зону нечувствительности.

В качестве примера рассмотрим аperiodический объект первого порядка с передаточной функцией:

$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$, переходная функция (кривая разгона) которого представлена на рис. 4.

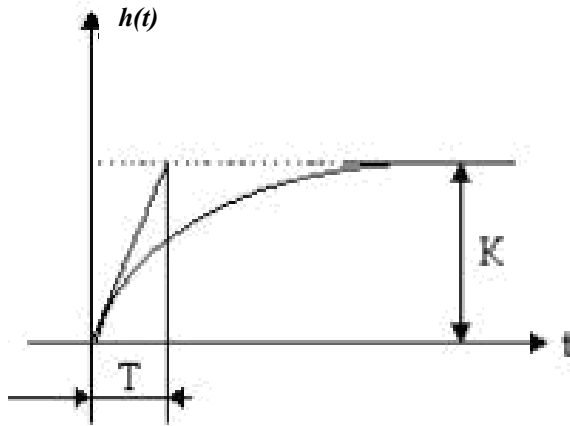


Рис. 4. График переходной функции аperiodического объекта

Пусть коэффициент усиления объекта $K = 2$, постоянная времени $T = 3$, тогда $G(s) = \frac{2}{3s + 1}$.

Зададим входное воздействие на линейную часть объекта $\bar{x} = \begin{cases} -1, & \alpha < -1 \\ 0, & -1 \leq \alpha \leq 1 \\ 1, & \alpha > 1 \end{cases}$ (рис. 5).

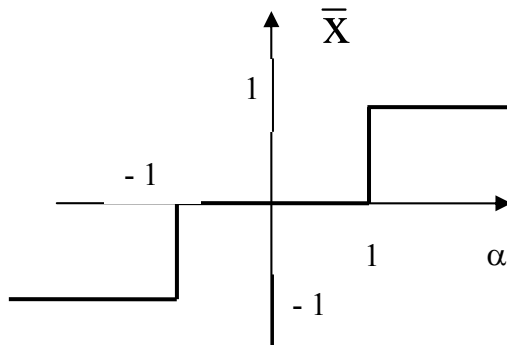


Рис. 5. Идеальная релейная характеристика с зоной нечувствительности

Для нелинейного объекта при воздействии ступенчатого входного сигнала переходная функция имеет вид:

$$y(t) = \bar{x} \cdot y^* = \bar{x} \cdot 2(1 - e^{-0,33t}) = \begin{cases} -2 + 2e^{-0,33t}, & \alpha < -1 \\ 0, & -1 \leq \alpha \leq 1 \\ 2 - 2e^{-0,33t}, & \alpha > 1 \end{cases}$$

где y^* реакция линейной части объекта на входное ступенчатое воздействие.

Идентификация нелинейной характеристики САУ проводится на отрезке $\alpha \in [-4; 4]$, шаг дискретизации вход-выходных сигналов выбран $\Delta t = 0,5$ [7]. Возьмем $\alpha_1 = -4$, для него справедливо: $x(t) = -4 \cdot 1(t)$, $\bar{x} = -1$.

Следовательно, реакция объекта имеет вид:

$$y(t) = -2 + 2e^{-0,33t}.$$

По дискретным измерениям сигналов $x(t)$ и $y(t)$ составляем идентифицирующую матрицу В. Висковатова [3]:

-4	-4	-4	-4
-0,3070	-0,5669	-0,7869	-0,9732
-0,8465	-1,5630	-2,1695	-2,6830
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Получаем дискретную передаточную функцию объекта: $G(z) = \frac{0,0768 \cdot z^{-1}}{1 - 0,8465 \cdot z^{-1}}$.

Находим полюс полученной дискретной передаточной функции: $z^H = 0,8465$.

Переведем полюс из Z – плоскости в S – плоскость [7]: $s^H = -0,33$.

Полученные результаты позволяют восстановить $G^M(s)$: $G^M(s) = \frac{K}{s - 0,33}$.

Для нахождения коэффициента K воспользуемся соотношением:

$$y(t_2) - y(t_1) = y^M(t_2) - y^M(t_1),$$

где $y^M(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{3}})$ [7].

Пусть $t_1 = 1$, $t_2 = 2$, тогда

$$K = \frac{0,56694 - 0,97317}{0,486583 - 0,283469} = 2.$$

Оценки параметров нелинейной характеристики аналогично были получены при вариациях амплитуды α в указанном диапазоне, в каждом случае вид выходной переменной объекта соответствовал переходной кривой аperiodического звена 1-го порядка (рис. 4). Поведение выходного сигнала $y(t)$.

Таблица 1

α	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4
$\bar{X}$	-1	-1	-1	0	0	1	1	1
y	$-y^*$	$-y^*$	$-y^*$	0	0	y^*	y^*	y^*

Из табл. 1 следует, что при $\alpha = -4; -3; -2; 2; 3; 4$ реакция объекта остается постоянной (сохраняет полярность), а при $\alpha = -1; 0; 1$ объект не реагирует на входное воздействие, наблюдается зона нечувствительности. Значит, объект не удовлетворяет принципу суперпозиции, присутствует нелинейное звено, которое имеет вид идеальной релейной характеристики с зоной нечувствительности.

Таким образом, при рассмотрении реальных систем неизбежно сталкиваются с необходимостью учета широкого спектра нелинейностей. Особенности поведения нелинейных систем и многообразия протекающих в них процессов создают трудности при их математическом описании и исследовании.

В работе показаны возможности распознавания вида нелинейной статической характеристики непрерывного объекта на основе анализа дискретной измерительной информации о его функционировании и моделирования линейной части объекта непрерывными дробями. Проведен обзор свойств и особенностей типовых статических нелинейностей. Предложенный алгоритм распознавания вида статической нелинейности динамического объекта удобно использовать при создании программного обеспечения с помощью современных вычислительных средств.

Литература

1. Андриющенко, В. А. Теория системы автоматического управления / В. А. Андриющенко. – Л.: Издательство ЛГУ, 1990.
2. Гельднер, К. Нелинейные системы управления / К. Гельднер, С. Кубик. – М.: Мир, 1987.
3. Карташов, В. Я. Непрерывные дроби (определения и свойства): учебное пособие / В. Я. Карташов. – Кемерово, 1999.
4. Наумов, Б. Н. Теория нелинейных автоматических систем. Частотные методы / Б. Н. Наумов. – М.: Наука, 1972.
5. Первозванский, А. А. Курс теории автоматического управления / А. А. Первозванский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1986.
6. Попов, Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления / Е. П. Попов. – М.: Наука, 1988.
7. Карташов, В. Я., Инденко О. Н. Способ идентификации нелинейного объекта. Патент РФ №2233480, 7 G 06 N 1/00.
8. Цыпкин, Я. З. Релейные автоматические системы / Я. З. Цыпкин. – М.: Наука, 1974.