

СИНТЕЗ КРИТЕРИЯ ПРИ АДАПТИВНО-ПОИСКОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЧУА

Аннотация: В статье предложен и исследован критерий идентификации нелинейной хаотической системы Чуа. Показана работоспособность адаптивно-поисковой системы идентификации с использованием предложенного критерия.

Ключевые слова: Идентификация, хаотическая динамика, критерий идентификации, нелинейная колебательная система Чуа.

Введение

Идентификация нелинейных системы хаотической динамики является сложной задачей для методов идентификации. Для таких задач, даже работоспособные в широком диапазоне адаптивно-поисковые методы [1] требуют синтеза специального критерия идентификации. Вид критерия часто определяется физическими характеристиками системы [3], а, в некоторых случаях, определение происходит эмпирически [9].

Одной из известных хаотических систем, легко реализующихся как модельно, так и схемотехнически, является нелинейная система Чуа [7]:

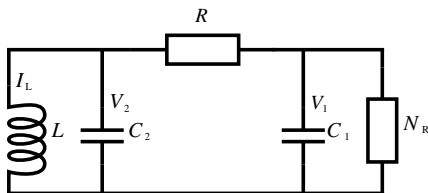


Рис. 1 – Схематехническое представления системы Чуа

Динамика системы Чуа описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} C_1 \dot{V}_1 &= \frac{1}{R}(V_2 - V_1) - g(V_1) \\ C_2 \dot{V}_2 &= \frac{1}{R}(V_1 - V_2) + I_L \\ \dot{I}_L &= -\frac{1}{L}V_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Единственным нелинейным элементом в данной системе является “диод Чуа” с характеристикой $g(V)$ (рис. 2), обладающий различным отрицательным сопротивлением, то есть являющийся управляемым источником энергии (m_0 и m_1) на разных участках. Параметр m_0 определяет поступление энергии в систему при больших амплитудах V_1 , и, в целом, описывает энергетические возможности источника. Аналогично, параметр m_1 определяет поступление энергии при малых колебаниях, в частности, определяет, будет ли система переходить в колебательный

режим при малых начальных возмущениях, и какой будет режим этих колебаний. Так как на самом деле параметр m_1 является суммой “глобального параметра” m_0 и “довеска”, определяющего дополнительный вклад при малых амплитудах, то имеет смысл перейти от параметра m_1 к параметру $m_2 = m_1 - m_0$, который определяет нелинейность системы. При $m_2 = 0$ система становится линейной и не представляет особого интереса. Поэтому в данной работе в качестве идентифицируемого параметра рассматривается параметр m_2 . Прочие параметры определялись следующим образом [7]:

$$C_1 = 1/9, C_2 = 1, L = 1/7, R = 1/0.7.$$

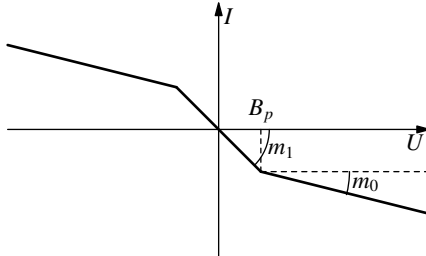


Рис. 2 – Характеристика $I = g(V)$ диода Чуа

В зависимости от величины этого параметра, система проявляет режимы затухания, периодическое и сложно-периодическое движение, и режим хаотических колебаний. При этом сложно-периодическое и хаотическое движение чередуются с изменением величины m_2 . На рис. 3 и 4 представлен переход от хаотического движения к сложно-периодическому при малом изменении параметра.

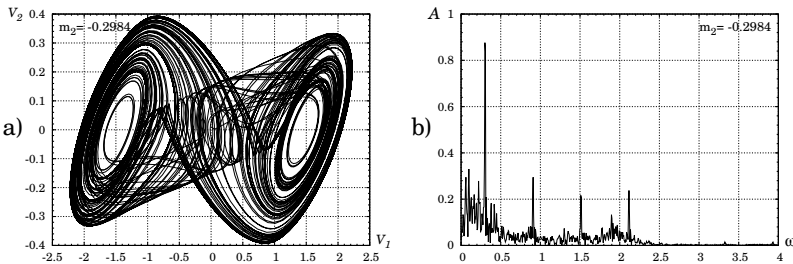


Рис. 3 – Фазовый портрет (а) и спектр (б) системы (1) при $m_2 = -0.2984$

На рис. 5 и 6 представлен обратный процесс. В пограничных областях изменение параметров моделирования также может привести к изменению режима.

энергетические критерии, например, измерив и усреднив на достаточно большом интервале времени τ энергию, запасённую в конденсаторах и индуктивностях. Измерение энергии в конденсаторах технически проще. При этом, схемное расположение конденсатора C_1 даёт основания рассматривать его в первую очередь.

Таким образом, рассмотрим в качестве основы для построения критерия следующие величины:

$$Q_{\text{mod}} = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t |V_1(t)| dt \quad (2)$$

и

$$Q_{\text{sq}} = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t V_1^2(t) dt \quad (3)$$

Полученная в результате моделирования зависимость $Q_{\text{mod}}(m_2)$ представлена на рис. 7. Из графика следует, что в исследуемом диапазоне m_2 эта зависимость имеет практически линейный характер. Не наблюдается существенных отклонений при смене режима динамики системы. Все это даёт основания полагать, что величина Q_{mod} является хорошим претендентом на базовую величину при построении критерия идентификации. Очевидно, что величина Q_{sq} ведёт себя аналогично, только зависимость не линейная, а квадратичная, что потенциально сужает рабочий диапазон поиска.

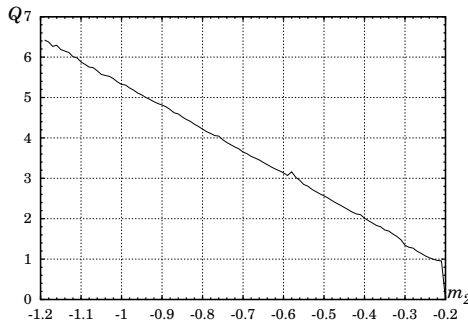


Рис. 7 – Зависимость величины $Q_{\text{mod}}(m_2)$ (2) для системы (1)

Сам критерий идентификации, определяются классически для систем адаптивно-поисковой идентификации:

$$F = \exp(-\gamma(Q_m - Q_o)) \quad (4)$$

где Q_m и Q_o – величины, определяемые 2 или 3 для модели и объекта соответственно, γ – чувствительность критерия.

Следует также отметить, что значения на графике рис. 7 были получены при весьма умеренном значении τ , соответствующем приблизительно десяти-пятнадцати характерным временам системы (1). Это дает основания полагать, что система идентификации будет обладать хорошим быстродействием. Для сравнения отметим, что идентификация системы Ван-Дер-Поля [1,8] потребовала оценивания на интервалах, больших примерно на десятичный порядок.

Моделирование процесса идентификации

Для моделирования процесса идентификации системы вида (1) адаптивно-поисковым методом с двумя УГПК и предлагаемым критерием вида (4) была собрана соответствующая схема в программе qto2 (рис. 8).

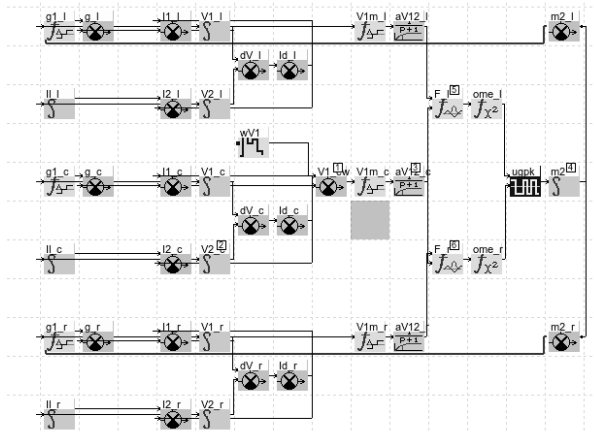


Рис. 8 – Моделируемая система идентификации в программе qto2

Проводилось моделирование процесса идентификации с критерием, как основанным на величине Q_{mod} , так и на величине Q_{sq} . Как и ожидалось, обе системы показали свою работоспособность, и использование величины Q_{mod} обеспечило больший рабочий диапазон поиска.

На рис. 9 представлены сравнения результатов моделирования процессов идентификации параметра m_2 при различных начальных значениях параметра и использовании величины Q_{mod} .

Следует также отметить, что скорость поиска как минимум на порядок выше, чем для систем Ван-Дер-Поля [1,8], Дуффинга [4] и Рёсслера [9]. Скорее всего, это связано с более тесной связью критерия с идентифицируемым параметром.

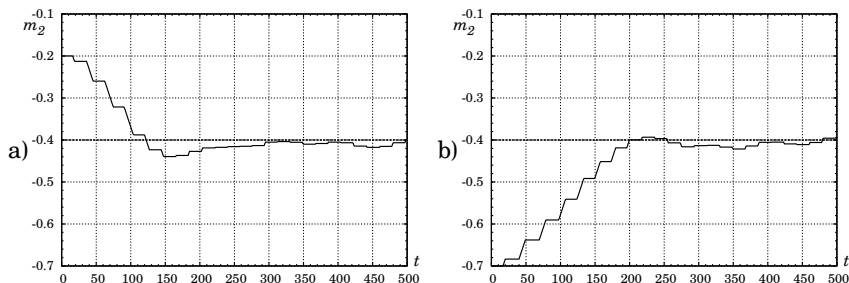


Рис. 9 – Результаты моделирования процесса идентификации для различных начальных значений коэффициента m_2 : а: -0.2 и б: -0.7

Выводы

Результаты моделирования динамики нелинейной автоколебательной системы Чуа позволяют сделать следующие выводы:

- моделирование процесса адаптивно-поисковой идентификации при использовании как квадратичного, так и модульного критерия показало, что применение обеих выбранных критериев оправданно;
- модульный критерий при прочих равных обеспечивает больший диапазон поиска параметра;
- скорость и точность работы полученной системы идентификации практически не уступает соответствующим показателям систем идентификации нехаотических объектов;

Литература

1. Михалёв А.И., Гуда А.И. Выбор критерия при адаптивно-поисковой идентификации динамической системы Ван-Дер-Поля // Адаптивные системы автоматического управления. – 2010. – № 16(36). – С. 154–160.
2. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И. Шиманский-Гайер Л. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 544 стр.
3. Михалёв А.И., Гуда А.И., Новикова Е.Ю. Синтез критерия идентификации нелинейных динамических систем на физических принципах // Адаптивные системы автоматического управления. – 2007. – № 11(31). – С. 136–142.
4. Михалёв А.И., Гуда А.И. Адаптивно-поисковая идентификация хаотической динамической системы Дуффинга // Адаптивные системы автоматического управления. – 2008. – № 12(32). – С. 166–171.
5. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2004 – 320 с.

6. *Мун Ф.* Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1990. – 312 с.
7. *Бугаевский М.Ю., Пономаренко В.И.* Исследование поведения цепи Чуа. Учебно-методическое пособие, – Саратов: Издательство ГосУНЦ “Колледж”, 1998. – 29 с.
8. *А.И. Гуда, А.И. Михалев* Исследование альтернативного критерия при адаптивно- поисковой идентификации динамической системы Ван-Дер-Поля // Адаптивные системы автоматического управления. – 2010. – № 17(37). – С. 149–154.
9. *А.И. Гуда, А.И. Михалев* Адаптивно-поисковая идентификация хаотической динамической системы Ресслера // Адаптивные системы автоматического управления. – 2009. – № 14(34). – С. 124–129.

Получено 15.03.2011